

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



PROYECTO FIN DE CARRERA

TITULACIÓN: Ingeniería Industrial

**‘Impacto de la incorporación del vehículo
eléctrico en la integración de energías renovables
en el sistema eléctrico’.**

AUTORA: Nuria Galindo Martín.

TUTOR: Fernando Soto Martos.

Leganés, 24 de mayo de 2010



ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	5
1.1.- GENERALIDADES	6
1.2.- ANTECEDENTES	7
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	9
2.-OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO	12
3.-SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL.....	13
4.- LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	16
4.1.- TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	19
4.1.1.-Comercializadoras de PHEV:.....	26
4.1.2.- Comercializadoras de BEV:	26
4.2.- BATERÍAS.....	27
4.2.1.- Plomo ácido.....	28
4.2.2.- NiCd	29
4.2.3.- NiMH	29
4.2.4.- Ión-Litio	30
4.2.5.- Li-ion polymer	32
4.2.6.- Zebra (NaNiCl)	32
4.2.7.- Supercondensadores	33
4.2.8.- Batería de BaTiO ₃	34
4.3.- “REPOSTAJE DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS”.....	37
4.4.- PROYECTOS SIGNIFICATIVOS	41
5.-ANÁLISIS Y RESULTADO DEL IMPACTO	47
5.1. EL PROBLEMA DE LOS VERTIDOS	47
5.2. RESULTADO DE INTEGRACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	50
6.- CONCLUSIONES	59
7.- BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXO	63
A1. COMERCIALIZADORAS DE PHEV	63



A2. COMERCIALIZADORAS DE BEV.	65
A3. NOTICIAS RELEVANTES	66



RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto es un análisis del impacto que tendrá el vehículo eléctrico en la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico.

Se comienza con un resumen del Sistema Eléctrico Español y un estudio de investigación del estado del arte del vehículo eléctrico, desglosado en tres partes fundamentales: el vehículo, las baterías y los puntos de recarga.

Una vez conocida la tecnología y el estado del Sistema Eléctrico, se realiza un análisis de la integración de las energías renovables y sus principales problemas, así como del impacto que la incorporación del vehículo eléctrico podría tener en esta integración y en la solución de los principales problemas.



1.- INTRODUCCIÓN

La mejora de la red de carreteras y la urbanización de la periferia de las ciudades ha hecho que aumente considerablemente la dependencia del automóvil, y a pesar de la mejora del transporte público la mayoría de los desplazamientos se realizan en vehículos personales.

Casi el 99% de la energía consumida por el transporte se cubre con derivados del petróleo, lo que supone una dependencia extrema de este combustible y por tanto, del exterior[4]. España tiene una fuerte dependencia de energía primaria del exterior, que se cuantifica en algo más del 80%.

Por otro lado, el CO₂ es un producto directo de todo proceso de combustión, siendo uno de los causantes del efecto invernadero, responsable del calentamiento global de la atmósfera.

El transporte por carretera supone la mayor amenaza al medio ambiente y a la seguridad energética dada su dependencia del petróleo, por lo que es urgente adoptar medidas, entre las que destaca su electrificación.

Desde hace tiempo se está trabajando para transformar el sistema de transporte actual en otro que sea más sostenible para el medio ambiente y la sociedad, es decir, que no agote los recursos naturales, no destruya el medio ambiente ni dañe la salud.

Además, este futuro sistema de transporte facilitará la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico, ya que podrá ayudar a resolver los problemas que hoy se plantean y que algunos de ellos se agravarán en el futuro, como:

- No gestionabilidad de energías eólicas y solar.
- No almacenamiento de electricidad.
- Vertidos de producción renovable. Este es uno de los aspectos más importantes a reducir. Estos vertidos ya se producen cuando la generación supera la demanda, generalmente en horas valle (horas de bajo consumo, noches y fines de semana). En la actualidad se han dado ocasiones, en horas de baja demanda, donde con la generación térmica mínima (unos 11000 MW) más la producción

eólica (hasta 13000 MW) se supera el valor de la demanda, por lo que sobra energía y el Operador del Sistema (Red Eléctrica de España) tiene que dar instrucciones para reducir producción eólica, energía que se pierde. Y esta situación irá a más ya que la potencia instalada de energías renovables seguirá aumentando y la demanda, sin embargo, no crece al ritmo esperado. Para reducir estos vertidos, se podrían adoptar algunas de las siguientes medidas:

- Bombeo: incrementar la cantidad existente en la actualidad es complicado y presente numerosos problemas ambientales.
- Almacenar esta energía sobrante: grandes acumuladores o supercondensadores (tecnología en desarrollo).
- Cargar baterías de vehículos eléctricos.

En el apartado 5 se verán ejemplos concretos de estas situaciones de vertido.

A lo largo del proyecto se identifican los distintos tipos de vehículos eléctricos existentes, qué proyectos se han y se están desarrollando y qué impacto puede tener esto sobre el sistema eléctrico. Este proyecto se ha centrado principalmente en los PHEV's (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) y en los eléctricos puros (EV) por ser a priori los que mayor impacto pueden tener sobre el sistema eléctrico.

Además, se estudiará que impacto tienen y tendrán la incorporación de los vehículos eléctricos sobre el sistema eléctrico español y su aportación a la integración de las energías renovables, principalmente la eólica y la solar.

1.1.- GENERALIDADES

Aunque los primeros automóviles fueron eléctricos, en el último siglo ha sido el motor de combustión interna el que ha tomado el poder. Hoy, casi el 99% de la energía consumida por el transporte se cubre con derivados del petróleo. La primera (1973) y la segunda crisis del petróleo (1979) hicieron que se abandonase el petróleo para la generación de electricidad. La crisis financiera actual y los efectos del calentamiento global del planeta deberían suponer, del mismo modo, su desplazamiento del transporte por carretera. Este proceso, al igual que el de la generación de electricidad, llevará varias décadas, y durante este tiempo habrá coexistencia de las dos tecnologías.

Para que este desplazamiento sea posible es necesario encontrar fuentes de energía alternativas que puedan mover estos vehículos y eliminen, en la medida de lo posible, los factores negativos del combustible. Ésta fuente de energía es la electricidad proveniente de fuentes renovables, como la eólica.

Es decir, sustituir el motor de combustión por un motor eléctrico alimentado con baterías, que serán cargadas a través de la red eléctrica.

Por lo tanto, también es necesario un desarrollo de las baterías para conseguir que estos vehículos tengan una autonomía suficiente para el uso diario. En la actualidad, la batería es el elemento clave para el éxito del vehículo eléctrico. La autonomía de las baterías y el tiempo de recarga de las mismas son los factores principales.

Hoy, por primera vez se dan todas las condiciones que harán posible la electrificación del transporte: en primer lugar el desarrollo de baterías de ión litio y otros materiales, que permiten la autonomía necesaria, y en segundo lugar el desarrollo de las energías renovables, especialmente la eólica, que pueden suministrar la electricidad necesaria, sin emisiones de CO₂, y a un coste razonable e inferior al de la gasolina, o el gasóleo.

Para que la incorporación del vehículo eléctrico al parque automovilístico nacional sea posible es necesario implantar ciertas medidas, como desgravaciones fiscales a la adquisición de vehículos eléctricos y el desarrollo de nuevas infraestructuras que son necesarias (puntos de recarga, estaciones de cambio de baterías), además de normas y leyes.

1.2.- ANTECEDENTES

La propulsión de automóviles alimentados con electricidad es uno de los métodos más antiguos todavía hoy en uso.

De hecho, el primer automóvil fue eléctrico y data de 1828, creado por Ányos Jedlik.[2]

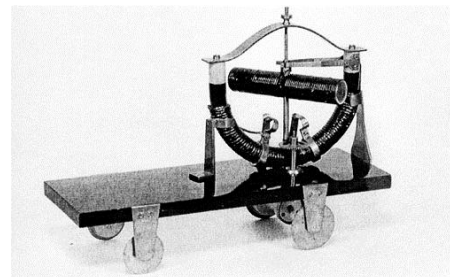


Imagen 1. Modelo de vehículo eléctrico de Ányos Jedlik.[2]



Aunque el primer vehículo eléctrico conocido fue un modelo del Profesor Stratingh en 1835, los primeros utilitarios fueron construidos por Thomas Davenport en Estados Unidos y por Robert Davison en Edimburgo en 1842.

La mejora de la pila eléctrica, por parte de los franceses Gaston Planté en 1865 y Camille Faure en 1881, facilitó el camino a los vehículos eléctricos. Francia y Gran Bretaña fueron los primeros países que apoyaron el desarrollo generalizado de vehículos eléctricos.[1]

Antes de la llegada inminente del motor de combustión interna se había alcanzado varios records de distancia y velocidad, entre los que destacan la ruptura de la barrera de los 100 km/h, de Camille Jenatzy el 29 de abril de 1899, que alcanzó una velocidad máxima de 105,88 km/h.

Cuando la industria del automóvil empezó a tomar forma a finales del siglo XIX, en Nueva York comenzaron a funcionar taxis eléctricos en 1897. La Electric Company llegó a tener más de 100 de estos coches circulando y pronto se vieron también en otras ciudades de Estados Unidos. Las ventas alcanzaron su pico en 1912.

Debido a las limitaciones tecnológicas, la velocidad máxima de estos primeros vehículos eléctricos se limitaba a unos 32 km/h, por eso fueron vendidos como coches para la clase alta y con frecuencia se comercializaban como vehículos adecuados para las mujeres debido a conducción limpia, tranquila y de fácil manejo, especialmente al no requerir el arranque manual con manivela que sí necesitaban los automóviles de gasolina de la época

La introducción del arranque eléctrico del Cadillac en 1913[1] simplificó la tarea de arrancar el motor de combustión interna. En 1908 Ford implantó el sistema de producción en cadenas de montaje de forma masiva y más barata. Esto, junto con el nuevo sistema de arranque contribuyó a la caída del vehículo eléctrico. Además las mejoras se sucedieron a mayor velocidad en los vehículos de combustión interna que en los vehículos eléctricos.

A finales de 1930, la industria del automóvil eléctrico desapareció por completo.

No fue hasta la crisis energética en 1970 y en los 80 cuando los vehículos eléctricos volvieron a tener interés, ya que eran independientes de las fluctuaciones del mercado del petróleo.

Desde ese momento hasta hoy en día la tecnología ha ido avanzando poco a poco, sobre todo en lo relativo a las baterías (principal limitación), siendo en los últimos años (debido nuevamente a la crisis energética del 2000) cuando más se ha notado el desarrollo de estos vehículos. La inmensa mayoría de los fabricantes de coches tienen ya sus propios modelos eléctricos o híbridos enchufables, entre los que destaca la empresa REVA con su modelo REVAi, que es el más vendido del mundo.

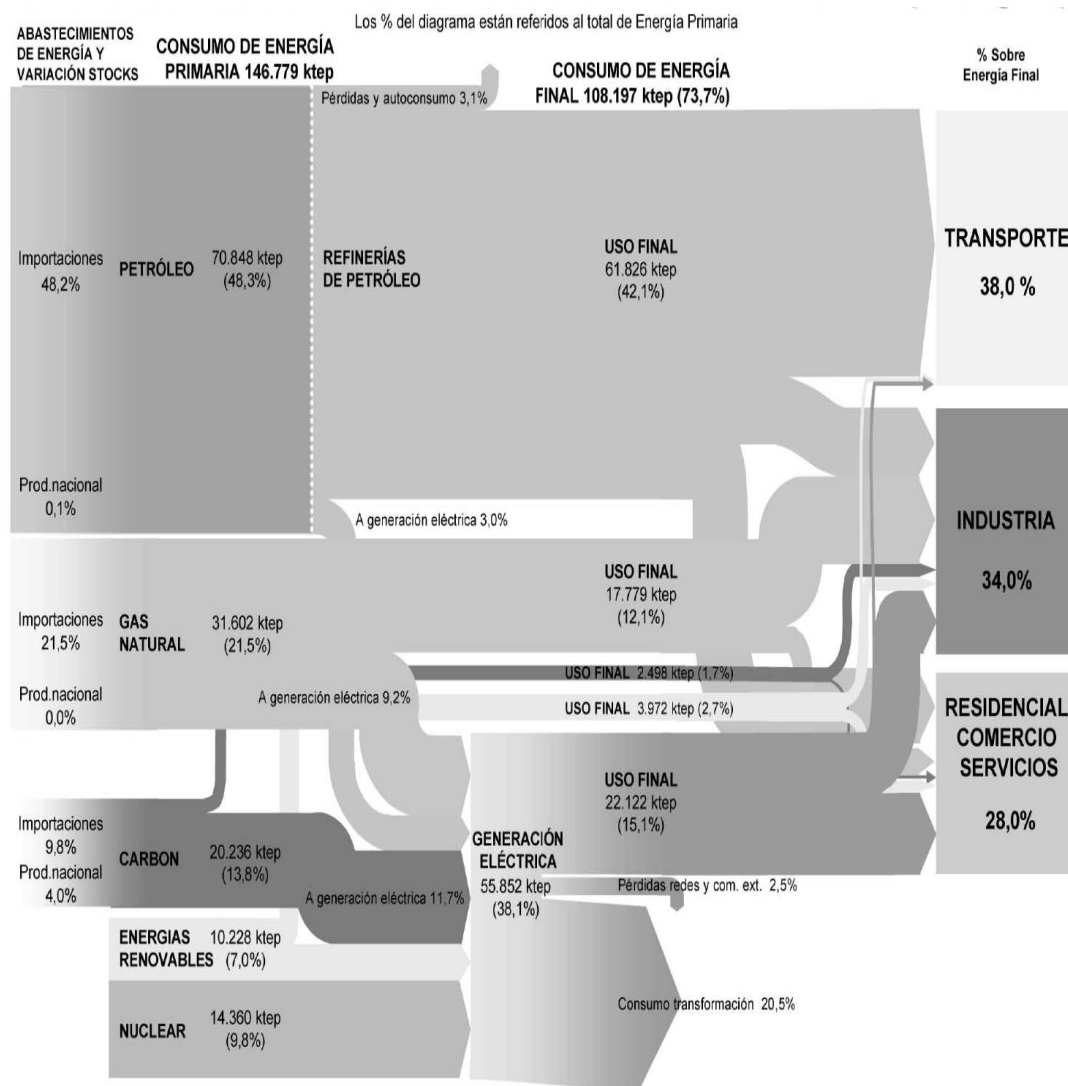


Imagen 2. REVAi [15]

La electrificación será progresiva, arrancando hacia 2012, y sólo hacia 2020 empezará a representar un porcentaje significativo del parque de vehículos.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En las últimas décadas se ha experimentado en España un importante desarrollo económico en todos los sectores de actividad, lo que ha llevado a un gran aumento de la demanda energética. Uno de los sectores que más ha contribuido a este aumento es el sector del transporte, que a partir de los años 90 se ha convertido en el sector con mayor demanda de energía final. Como se observa en la imagen 3 el transporte representa un 38% de la demanda de energía final, frente al 34% de la industria, tradicionalmente el mayor consumidor de energía.



Fuente: MITYC

Imagen 3. Diagrama de Sankey de la Energía en España en 2007.[4]

La urbanización de las calles metropolitanas y la mejora de las redes viarias, son factores que determinan una dependencia cada vez mayor del automóvil y, a pesar de la mejora del transporte público, casi el 80% de los desplazamientos de personas se realiza en vehículos privados.

El parque móvil se acerca a los 30 millones de vehículos, de los que más de 20 millones son turismos.

Por otro lado, casi el 99% de la energía consumida en el transporte se cubre con derivados del petróleo, lo que supone una dependencia extrema de fuentes de energía importadas.



Las razones para la electrificación del transporte son obvias: la inseguridad del abastecimiento del petróleo, los altos precios, los conflictos militares, las emisiones de CO₂, la contaminación atmosférica y el ruido, además de su aportación a la integración de las energías renovables en la medida que se ha comentado anteriormente.

Una política de transporte sostenible debe promover la reducción de la demanda, los transportes no motorizados y el transporte público y por ferrocarril, tanto de pasajeros como de mercancías y el coche compartido, además de mejorar la eficiencia de los vehículos. Pero como ya existen unos 800 millones de vehículos y el transporte motorizado individual está totalmente asentado (aumentando cada vez más), se hace necesario dar una solución viable y complementaria, y esa es el automóvil eléctrico conectado a la red, siempre que la mayor parte de la electricidad provenga de energías renovables, y muy especialmente de la eólica.[3]

Para la operación del sistema eléctrico, las razones de este interés están en la importancia de incorporar nuevas demandas que permitan aplanar la curva de carga, sobretodo teniendo en cuenta la creciente penetración de las energías renovables en la generación de electricidad.

El desarrollo del coche eléctrico contribuirá a una mejor integración y gestión de las energías renovables en el sistema eléctrico. Al cargarse en horas 'valle' de noche, permitirá aprovechar la energía renovable que ahora se desecha y, a largo plazo, haría el papel de acumulador de energía capaz de compensar picos en la demanda del sistema.



2.-OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es analizar y evaluar el impacto de la incorporación del vehículo eléctrico en la integración de energías renovables en el sistema eléctrico.

Como objetivos secundarios tenemos:

- Describir las características principales del Sector Eléctrico Español.
- Describir el estado del arte de los vehículos eléctricos y principalmente de las baterías.
- Análisis de la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico.

3.-SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

Lo más destacable del Sistema Eléctrico Español en el 2009 es la brusca desaceleración de la demanda de energía eléctrica, debido principalmente al decaimiento de la actividad económica. Esta demanda sufrió un decremento del 4,6% respecto al año 2008, primera tasa negativa de la historia.[5]

Sólo en la Península, la demanda en barras de central (energía inyectada en la red procedente de las centrales de régimen ordinario, régimen especial y de las importaciones, y deducidos los consumos en bombeo y las exportaciones. Para el traslado de esta energía hasta los puntos de consumo habría que quitar las pérdidas originadas en la red de transporte y distribución) se situó en 251.305 GWh, valor inferior al de 2008 que alcanzó 263.310 GWh (un 4,6 % inferior al año 2008).

En cuanto a los máximos de demanda, el 13 de Enero se alcanzó un récord de demanda de potencia media horaria y de energía diaria, con valores de 44.440 MW y 886 GWh, respectivamente.

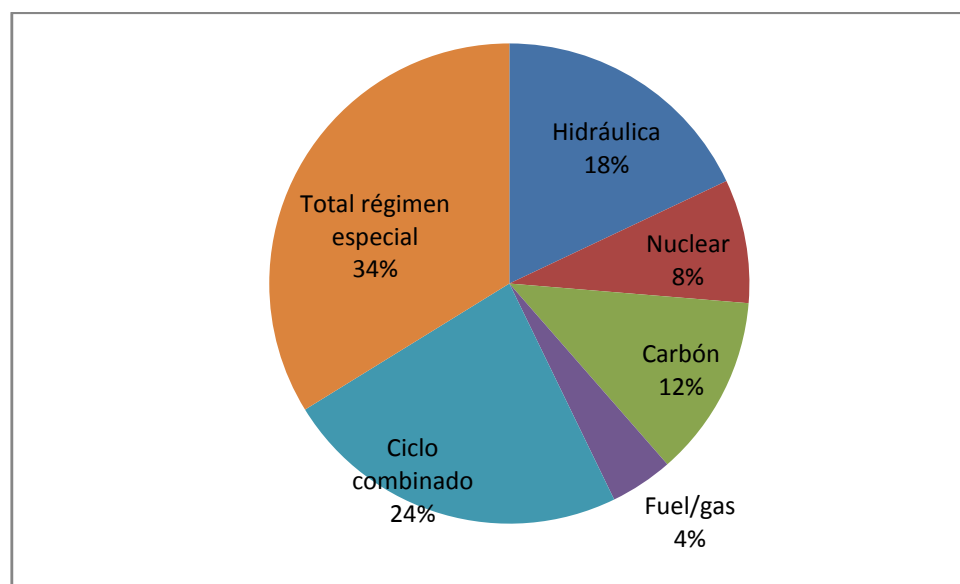
En la tabla 1 se muestra la potencia instalada a 31.12.2009 del sistema eléctrico peninsular. [5]

	Potencia (MW)	% 09/08
Hidráulica	16.657	0
Nuclear	7.716	0
Carbón	11.359	0
Fuel/gas	3.927	-10,8
Ciclo combinado	22.243	2,6
Total régimen ordinario	61.902	0,2
Eólica	18.119	16,6
Resto régimen especial	13.194	0,1
Total régimen especial	31.313	9,0
Total	93.215	3,0

Tabla 1. Balance de potencia a 31.12.2009. Sistema eléctrico peninsular.[5]

Respecto a la cobertura de la demanda, lo más destacable del 2009 fue el notable crecimiento de la producción de energía renovable, que han cubierto el 26 % de la demanda. En especial cabe destacar la eólica, cuya aportación ha representado un 13 %.

La potencia instalada en el parque generador del sistema peninsular aumentó 2.682 MW durante el 2009, lo que a 31 de diciembre situaba la capacidad del sistema en 93.215 MW. En el gráfico 1 se puede ver qué porcentaje de cada potencia está instalado en el sistema peninsular.



Fuente: REE

Gráfico 1. Potencia instalada a 31.12.2009.

La mayor parte del aumento de la capacidad (el 84%) proviene de nuevas instalaciones de régimen especial, principalmente de origen renovable, que han supuesto en el 2009 en el sistema peninsular 2.260 MW. De esta potencia, 2.245 MW corresponden a nuevos parques eólicos.

Respecto al régimen especial, de gran relevancia para este proyecto, cabe destacar su aumento de producción en 2009 a 78.188 GWh, lo que supuso un crecimiento del 18.3% respecto al año anterior.

Este crecimiento fue debido, principalmente, a la progresiva incorporación de nuevas instalaciones de régimen especial, que durante el 2009 aportaron 2.260 MW de potencia, elevando su capacidad total al finalizar el año a 31.313 MW.



El 95% de este aumento proviene del elevado crecimiento de las instalaciones de energía renovable. La variación más significativa corresponde a la energía eólica, que en el 2009 elevó su participación en la generación al 13,1%, siendo esta energía del orden de 35.424 GWh.

En febrero de 2010 la potencia instalada peninsular de régimen especial asciende a 31.619 MW, donde la eólica representa un 58,16%. [35]

La potencia eólica instalada en la península desde 1996 hasta febrero 2010 ha crecido de 183 MW hasta 18.390 MW. La planificación para el 2016 contempla un escenario con 29.000 MW. A partir de esa fecha se espera una tasa de crecimiento similar para cumplir las iniciativas propuestas por la Unión Europea (20% de la energía final debe ser renovable en 2020).

En el [apartado 5](#) se verá que impacto tiene la introducción de los vehículos eléctricos en el parque automovilístico sobre el sistema eléctrico español. Se estudiará si el sistema eléctrico puede asumir esta nueva carga y en qué condiciones.



4.- LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Las emisiones de CO₂ del transporte por carretera son una de las causas más evidentes y difíciles de controlar del cambio climático. Si a esto se añade el incremento del precio de los combustibles fósiles, y la limitación de las reservas de gas y petróleo, se pone de manifiesto la urgencia por desarrollar nuevas formas de transporte que a día de hoy apuntan hacia los vehículos eléctricos híbridos (HEV), híbridos enchufables (PHEV) y eléctricos puros (EV).

Si el sistema de transporte del futuro se basara en los coches eléctricos, éstos requerirían sistemas de almacenamiento de energía capaces de cargarse tantas veces como se quiera en tiempos de carga muy reducidos. De forma complementaria se desarrollaría una red de distribución capaz de suministrar la energía eléctrica en las cantidades demandadas, en lugares accesibles.

La electrificación del transporte puede ser el salto que necesitan las energías renovables para consolidarse y superar sus inconvenientes de no gestionabilidad y de no garantizar el suministro. La eólica es la que presenta el mayor potencial a corto y medio plazo, pero la fotovoltaica también puede proporcionar electricidad en lugares aislados o no conectados a la red con sencillas pérgolas (ya hay modelos patentados) o en garajes con cubiertas fotovoltaicas, y la solar termoeléctrica jugará un papel importante en determinadas regiones.

En un vehículo eléctrico se distinguen tres elementos principalmente:

- El vehículo propiamente dicho. Ver imagen 4.
- La o las baterías. Ver imagen 5.
- Y los sistemas de carga de estas baterías. Ver imagen 6.



Imagen 5. Vehículo eléctrico [36]



Imagen 4. Batería de ión litio [37]



Imagen 6. Punto de recarga.[25]

La tecnología existe, y la única cuestión que queda por desarrollar son las baterías, que proporcionen una autonomía adecuada entre recargas a un coste razonable. Las soluciones van desde los híbridos enchufables a los vehículos totalmente eléctricos, empleando baterías de ión litio o de otros materiales en desarrollo, como las baterías Zebra o de zinc-aire, además de los desarrollos de la nanotecnología.

Hoja de ruta del vehículo eléctrico

A continuación se puede ver el tipo de baterías que usa cada coche según su nivel de electrificación (ver imagen 7). Como se puede observar, el precio está todavía por determinar, ya que todo dependerá de cómo evolucione la tecnología de las baterías y su fabricación en serie (en este caso tanto del coche como de la batería).

Evolución de electrificación

Nivel de electrificación



Fuente: MAGNA (Austria)

Imagen 7. Hoja de Ruta del VE



4.1.- TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Un vehículo eléctrico es un vehículo de combustible alternativo impulsado por uno o más motores eléctricos.

A diferencia de un motor de combustión interna que está diseñado específicamente para funcionar quemando combustible, un vehículo eléctrico obtiene la tracción de los motores eléctricos. Se clasifican según las fuentes de energía eléctrica[2]:

- Energía almacenada a bordo con sistemas recargables, que cuando estacionan almacenan energía que luego consumen durante su desplazamiento. Las principales formas de almacenamiento son:
 - Energía química almacenada en las baterías: vehículo eléctrico de batería.
 - Energía eléctrica almacenada en supercondensadores.
 - Almacenamiento de energía cinética, con volante de inercia sin rozamiento.
- Fuentes que permiten la generación eléctrica a bordo del vehículo durante el desplazamiento, como son:
 - La energía solar generada con placas fotovoltaicas.
 - Generados a bordo usando una célula de combustible.
- También es posible disponer de vehículos eléctricos híbridos, cuya energía proviene de múltiples fuentes, tales como:
 - Almacenamiento de energía recargable y un sistema de conexión directa permanente.
 - Almacenamiento de energía recargable y un sistema basado en la quema de combustibles, incluyendo la generación eléctrica con un motor de explosión y propulsión mixta con un motor eléctrico y de combustión.

Partiendo de esta clasificación distinguimos principalmente entre tres tipos de vehículos:

- **Híbrido (HEV)**

Un vehículo eléctrico híbrido es un que tiene un motor de combustión y un motor eléctrico. El paquete de baterías es pequeño (aproximadamente 1 kWh) porque la conducción eléctrica se usa solo para ayudar a la aceleración y en general para la gestión de la alternancia que hay entre el motor eléctrico y el de combustión. [6] Este sistema mejora la economía del combustible alrededor del 20-35%, permite la operación optimizada del motor, puede capturar la energía de frenado y almacenarla en la batería, y puede reducir las emisiones del motor debido a un sistema de control del motor mejorado. Cuando el motor de combustión interna funciona, lo hace con su máxima eficiencia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga las baterías del sistema. En otras situaciones funciona sólo el motor eléctrico, alimentándose de la energía guardada en la batería. El gran problema actual con el que se encuentra el vehículo eléctrico es la capacidad de acumulación de energía eléctrica, que es muy baja en comparación con la capacidad de acumulación de energía en forma de combustible.

- **Híbrido enchufable (PHEV)**

Es una alternativa al vehículo híbrido que permite recargar las baterías tanto con el motor de combustión interna como con un enchufe. En teoría reúnen las ventajas tanto de los híbridos como de los vehículos totalmente eléctricos, y pueden facilitar la transición hacia la electrificación del transporte por carretera. En definitiva, es un HEV con un paquete de baterías mayor (5-10 kWh) y la capacidad de operar durante 30-60 km en modo solo eléctrico. El motor de combustión es más pequeño y puede optimizarse funcionando como un generador que carga las baterías con el combustible de a bordo.[6]

Existen dos tipos de PHEV: en un caso, el motor de gasolina o gasóleo sustituye al eléctrico cuando se descarga la batería, y en otro sólo generan más electricidad para el motor eléctrico, aumentando su autonomía. A lo largo del año la inmensa mayoría de los kilómetros recorridos se haría utilizando el motor eléctrico con electricidad proveniente de la red; la recarga se haría en la mayoría

de los casos durante la noche, utilizando las tarifas nocturnas, que en parte provendría de aerogeneradores eólicos. Estos vehículos recuperan la energía de los frenados y no consumen en las continuas paradas, por lo que son ideales para los desplazamientos urbanos, con continuas frenadas y arranques.



Imagen 8. PHEV cargando sus baterías en un punto de recarga. [38]

Entre las **ventajas** de estos vehículos podemos destacar [7] [3]:

- Desplazamiento del petróleo (cada kWh en uso desplazará 150 litros de combustible al año).

Un vehículo de gasolina o diésel que consuma de media 7 litros cada 100 km, y recorra 17000 km al año, consumirá un volumen, V , igual a:

$$V = \frac{7 \text{ l}}{100 \text{ km}} \cdot \frac{17000 \text{ km}}{\text{año}} = 1190 \text{ l/año} \quad (1)$$

Si utilizamos un PHEV, la mitad de los kilómetros se harán con el motor eléctrico, es decir, ahorraríamos 595 litros de combustible con el uso de una batería de 4 kWh (que es aproximadamente lo que tiene la batería de un PHEV).

Por lo tanto, por cada kWh en uso ahorraríamos un volumen de combustible, V_{comb} :

$$V_{comb} = \frac{595}{4} = 149 \text{ l/año} \quad (2)$$

- Mayor eficiencia del combustible.
- Menores costes de operación.
- Elimina la inseguridad de la autonomía de los eléctricos puros.
- Menores emisiones. El balance total de las emisiones dependerá del origen del mix de la electricidad consumida, y será más favorable cuanto mayor sea el porcentaje procedente de la eólica y otras renovables.
- Además, si se cargan durante la noche (horas valle), aprovechan los periodos de valle.
- Funcionan como acumuladores de energía y en caso de ser necesario devolverían energía a la red.

Sus principales **inconvenientes** son:

- El precio (todavía alto), el peso y el tamaño de las baterías (cada vez más livianas y de menor tamaño).
- Coste del vehículo mayor que los tradicionales.
- Escasos modelos existentes (sólo a partir de 2010 comenzarán a comercializarse los modelos hoy en desarrollo).
- Las emisiones de la generación de electricidad consumida, que dependerán del mix de generación, mayores que en los eléctricos puros.
- Las salidas eléctricas para la recarga nocturna suelen estar dentro de los garajes y no todo el mundo dispone una plaza de garaje.

- **Eléctrico puro sólo con baterías (BEV)**

Estos vehículos no disponen de motor de combustión. Almacenan energía en baterías y tienen un enchufe para recargarlas. El motor eléctrico aprovecha la energía de los frenados, que normalmente se perderían a través de la disipación del calor y la fricción, mejorando notablemente la eficiencia de los vehículos tradicionales, lo que lo hace



Imagen 9. BEV recargando en un punto de recarga. [39]



ideal para los desplazamientos urbanos.

Al tener menos partes mecánicas, sus costes de operación son inferiores. El coste del kilómetro recorrido por un vehículo eléctrico, por primera vez en la historia, es inferior al de ese mismo kilómetro en un automóvil convencional de gasolina o gasóleo.

Los vehículos eléctricos pueden tener sólo un gran motor eléctrico conectado a la transmisión, o varios pequeños motores en cada una de las ruedas. Con sólo un motor se adaptan mejor al diseño tradicional y permiten un motor más potente, pero presentan algunas pérdidas de eficiencia a través de la fricción. Los vehículos eléctricos con motores en los neumáticos (Michelin ya ha presentado sus prototipos) evitan muchas de las pérdidas de transmisión frente a un único motor, pero en la actualidad son más apropiados para pequeños vehículos debido a la necesidad de mayor potencia de los vehículos grandes[9].

El precio todavía sigue siendo bastante elevado (debido principalmente a las baterías), pero se espera que éste disminuya cuando empiece la producción en serie. Además del precio, sus principales **inconvenientes** son las limitaciones de tamaño y prestaciones de los vehículos, el tiempo de recarga de las baterías, la baja autonomía y la lentitud con respecto a los de combustión interna.

El coche medio europeo cuesta 12.000 euros y en sus 12 años de vida consume unos 30.000 litros de combustible, que costarán de 30.000 a 35.000 euros, dependiendo del país, y con tendencia creciente. El combustible cuesta el triple que el vehículo. Por comparación, la batería del automóvil eléctrico cuesta 7.000 euros, y la electricidad consumida en toda la vida ascenderá a sólo 2.000 euros; la suma de ambos conceptos es un tercio del combustible consumido por un coche de gasolina o gasóleo a lo largo de su vida. Pero el coste de las baterías y la electricidad de origen eólico o de otras energías renovables tienden a reducirse a lo largo de los años, mientras que la tendencia de los hidrocarburos es a subir, independientemente de bajadas circunstanciales, como la provocada por la crisis económica actual.

Un coche eléctrico necesita hoy de 10 a 20 kWh para recorrer 100 kilómetros, lo

que supone un coste aproximado de 2 euros (considerando el precio de la electricidad como 0.1177 €/kWh), frente a los casi 7 euros de media necesarios para que un coche de gasolina (7 litros de consumo a 1.1 €/l) o gasóleo (5.5 litros de consumo a 0.97 €/l) recorra la misma distancia. El menor coste variable compensa el mayor precio fijo de la batería, y de hecho se han propuesto nuevas fórmulas comerciales, como vender el auto sin la batería, y cobrar por los kilómetros recorridos, de forma semejante a los móviles de tarjeta, utilizando fórmulas de leasing.

Los más importantes desde el punto de vista del sistema eléctrico son los vehículos eléctricos con posibilidad de conexión a la red (**V2G**, del vehículo a la red):

- Vehículos eléctricos puros enchufables a la red (BEV).
- Híbridos eléctricos conectados a la red (PHEV).

En estos vehículos, las baterías de litio de los vehículos pueden almacenar la electricidad producida por la noche cuando el kWh es más barato o en horas de baja demanda, y venderla a la red a un buen precio en las horas punta cuando el kWh es más caro[10].

En la imagen 10 se puede ver el flujo de energía de la fuente al vehículo (flecha negra) y del vehículo a la red (flecha roja) en función del tipo de vehículo.

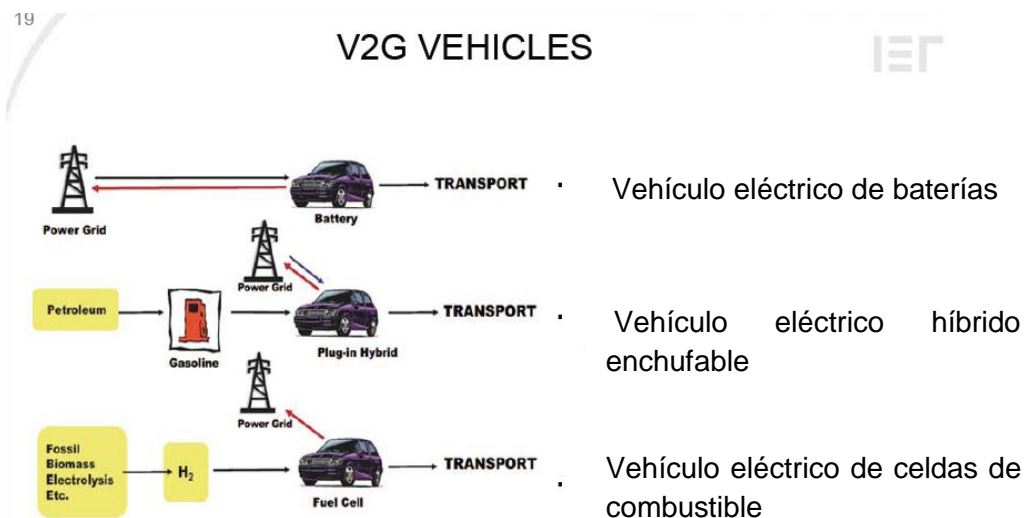


Imagen 10. Vehículos V2G. Fuente: Kempton 2005.

Los principales factores que pueden ser utilizados para calificar un vehículo respecto a otro son:

- Autonomía: ¿Cuánto puede viajar el vehículo entre repostajes?
- Tiempo de repostaje: ¿Cuánto tiempo se necesita para repostar?
- Infraestructura de repostaje: ¿Cómo de disponibles son las estaciones de repostaje?
- Eficiencia: ¿Cómo de lejos puede viajar un vehículo para dar una unidad de energía de combustible, medida en kilómetros por litro para HEVs y vehículos convencionales?
- Funcionamiento: ¿Cómo de bien se maneja el vehículo?
- Potencia: ¿Qué aceleración puede entregar el motor? ¿Qué velocidad puede mantener?
- Seguridad: ¿Cómo de vulnerable es el vehículo ante una colisión?
- Coste

Teniendo presente todas las características vistas de los distintos tipos de vehículos, se puede concluir:

Los vehículos eléctricos de baterías contribuirán a reducir las emisiones de partículas PM_{10} , óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxidos de carbono, mejorando la calidad del aire de nuestras ciudades. [11]

Sin embargo, los vehículos de gasolina y gasóleo superan a los vehículos eléctricos en tres cuestiones clave: mayor autonomía, el tiempo de recarga o de repostar y el coste del vehículo, determinado por el precio de la batería.

Un hecho es evidente: la gasolina y el gasóleo proporcionan mayor densidad energética y flexibilidad que la más avanzada de las baterías: 13 kW/kg en la gasolina y 12,7 kWh/kg en el gasóleo [12], frente a 0,16 kWh/kg de la última generación de baterías de iones de litio. La mayor densidad energética de los hidrocarburos garantiza una mayor autonomía, a pesar de su ineficiencia para convertir la energía química almacenada en kilómetros recorridos. Además, se requieren sólo unos minutos para llenar el depósito, frente a las varias horas necesarias para recargar los actuales vehículos eléctricos, y

existe toda una infraestructura bien desarrollada de gasolineras, frente a su ausencia en el caso de los vehículos eléctricos.

No obstante, las ventajas políticas, económicas, sociales y ambientales a medio y largo plazo son muy superiores.

4.1.1.-Comercializadoras de PHEV:

En la imagen 11 se muestra una relación de las empresas de automóviles que comercializan o tienen intención de comercializar este tipo de vehículo[13]. Para ver información más detallada de la actividad de estas empresas ver ANEXO A1.



Imagen 11. Comercializadoras de PHEV.

Fuente: <http://www.calcars.org/carmakers.html>

4.1.2.- Comercializadoras de BEV:

Al igual que en el caso de los PHEV, también existen una serie de empresas automovilísticas que comercializan los eléctricos puros.

En el ANEXO A2 se puede ver la relación de estas empresas y del coche que comercializan.



4.2.- BATERÍAS

La batería es el elemento más importante para un buen desarrollo del proyecto de vehículo eléctrico.

Un vehículo eléctrico se alimenta de la electricidad almacenada en grandes baterías recargables en su interior, que permite su funcionamiento con cero emisiones durante su utilización y sin apenas ruido, excepto el producido por los neumáticos. En la última década se ha asistido a una profunda mejora de las baterías, reduciendo su coste y permitiendo más ciclos de carga, a la vez que ha aumentado la capacidad de almacenamiento por unidad de peso y volumen, se ha eliminado el efecto memoria y ha aumentado su duración.

Las baterías podrían recargarse cuando “sobra” electricidad de origen eólico, y en un futuro no muy lejano pueden verter la electricidad almacenada a la red en las horas punta, actuando como un sistema de almacenamiento distribuido, de forma similar a las centrales reversibles de bombeo, pero a una escala mucho mayor e implicando a miles o millones de vehículos que, en general, pasan la mayor parte del tiempo aparcados.

El gran problema actual con el que se encuentra el motor eléctrico para sustituir al térmico en el vehículo es la capacidad de acumulación de energía eléctrica, que es muy baja en comparación con la capacidad de acumulación de energía en forma de combustible.

Su peso, volumen, poder de almacenamiento, son factores importantísimos a la hora de pensar en el vehículo que se quiere diseñar.

La mayoría de las baterías de los vehículos eléctricos actuales o previstos en los próximos dos años están fabricadas con litio, al igual que la de los móviles y portátiles. La electrificación del transporte supondrá un aumento importante de la extracción de litio, lo que ha dado origen a una gran polémica sobre el recurso del mineral, pues algunos autores como William Tahl sostienen que no habrá suficiente litio, por lo que habrá que utilizar otros materiales o baterías como la Zebra, mientras que la mayoría de



los autores, como el geólogo Keith Evans sostienen que no hay problemas de recursos. En cualquier caso las mayores o menores reservas de litio no supondrán ningún obstáculo a la electrificación del transporte, al existir alternativas y otros materiales como el zinc-aire o las baterías Zebra (NaNiCl y NaFeCl). [3]

Las baterías utilizadas en vehículos eléctricos se indican a continuación.

4.2.1.- Plomo ácido

Más conocida en inglés como Lead Acid. Son las baterías más antiguas y las más disponibles. Esta batería fue inventada por Gastón Planté en 1859.

Para conseguir una autonomía de 50 km con una velocidad punta de 70 km/h se necesitan más de 400 kg de baterías de plomo-ácido. El periodo de recarga puede oscilar entre 8 y 10 horas. [14]

Ventajas:

- Tensión elevada ($E=2.1 \text{ V}$)
- Capaz de suministrar elevadas intensidades de corriente.
- Tecnología fácil de implantar.
- Batería recargable con coste bajo. Es la más barata.
- Tasa de reciclaje $> 90\%$.
- Tecnología muy contrastada.

Desventajas:

- Baja energía específica (10-35 Wh/kg).
- Moderado nº de ciclos de vida para profundidades de descarga elevadas (400-800 ciclos).
- Ocupan mucho espacio y pesan mucho.
- Presencia de compuestos tóxicos.
- Riesgo de explosión por desprendimiento de hidrógeno.

Entre los coches que utilizan estas baterías destaca el Reva i, que es el más vendido del mundo.[15]

Autonomía: 65-80 km.

Velocidad máxima: 80 km/h.

Potencia: 12 kW (16 CV).

Pack de baterías: 8 baterías x 6V de Pb-Ácido, en serie.
48V, 198 Ah y 8.8 kWh.

Cargador: 220-240 V, 2.2 KW, alta frecuencia.

Tiempo de carga: 80% de carga en 2.5h. 100% de carga en 8h.

Punto de carga necesario: enchufe estándar de
230 V/16 A, con RCD (Residual Current Device).

Consumo: 133 Wh/km.

Número de ciclos: 500-700

Precio: desde 10.995 EUR.



Imagen 12. Coche Reva i.[15]

4.2.2.- NiCd

Utilizan un ánodo de níquel y un cátodo de cadmio. [9]

Ventajas:

- Tienen una gran duración, unos 1500 ciclos aproximadamente.
- Han sido desarrolladas para carga rápida.

Desventajas:

- El cadmio es un metal pesado muy tóxico, por lo que estas baterías han sido prohibidas por la Unión Europea.
- Baja densidad energética (60 Wh/kg).
- Se ven afectadas por el efecto memoria.
- Por su baja eficiencia de carga a altas temperaturas, deben ser enfriadas antes de recargarse.
- Alto coste del Níquel y del Cadmio.

4.2.3.- NiMH

Similar a la de níquel cadmio, pero sin el metal tóxico.[14]

Ventajas:

- Notable aumento de la energía específica respecto a las baterías Pb-ácido (unos 70 Wh/kg).
- Admiten recargas rápidas (1-3 horas).
- Bajo impacto ambiental por la eliminación del cadmio y el plomo.
- No necesitan mantenimiento.

Desventajas:

- Moderadas prestaciones electroquímicas, especialmente a elevadas intensidades de corriente.
- Corrosión de los hidruros metálicos durante el ciclaje.
- Moderado número de ciclos (300-600).
- Precio elevado. De 2 a 3 veces más caras que las de Pb-ácido.
- Se ven afectadas por el efecto memoria, aunque en menor proporción.

Actualmente, más de 2 millones de coches híbridos funcionan con estas baterías, por ejemplo, Toyota Prius, Honda Insight, Honda Civic Híbrido, Ford Escape y Chevrolet Malibu Híbrido. La mayoría de estas baterías están fabricadas por PEVE (Panasonic) y Sanyo bajo licencia de ECD/Cobasys.

También llevan estas baterías los PHEV General Motors EV1 y el Honda EV Plus.



Imagen 13. Toyota Prius y su pack de baterías de NiMH.[14]

4.2.4.- Ión-Litio

Es una de las más conocidas y deben su desarrollo a la telefonía móvil.[14] [17]

Ventajas:

- Elevada tensión ($E=4V$).



- Alta densidad energética, unos 140 Wh/kg.
- Ausencia de efecto memoria.
- Mayor vida, unos 1200 ciclos.
- Lenta pérdida de carga cuando no está en uso.
- Se puede diseñar para distintas formas y tamaños.
- Más ligeras.
- Bajo impacto ambiental por tener menos contaminantes.
- Amplio rango de temperaturas de trabajo (-20-60°C).

Desventajas:

- El tiempo de carga aumenta con el tiempo de vida de la batería.
- Los altos niveles de carga y las altas temperaturas que alcanzan provocan una pérdida de capacidad de la batería.
- Necesitan una buena ventilación.
- Alto coste.

Ya en 2005, Toshiba anunció una batería de ión-litio que se recargaba en un minuto.[20]
En la tabla inferior podemos ver algunas características de los BEV con baterías de Ion-Litio.

La mayoría de los fabricantes se han dado prisa para vender coches eléctricos con estas baterías, como GM, Hyundai, Toyota, Tata Motors, Tesla Roadster o Prius.

TIPO DE VEHÍCULO	PESO DE PRUEBA (kg)	POTENCIA MÁXIMA (kW)	PESO DE LA BATERÍA (kg)	MÁXIMA DENSIDAD DE POTENCIA (W/kg)	ENERGÍA DE LA BATERÍA (kWh)	DENSIDAD DE ENERGÍA (Wh/kg)
Coche compacto	1133	50	178	280	25	140
SUV de tamaño medio	1604	77	285	268	40	140

Tabla 2. Características de Vehículos eléctricos usando baterías de Ion- Litio.[18]



4.2.5.- Li-ion polymer

Es una tecnología similar a la de iones de litio.[9] [19]

Ventajas:

- Mayor densidad de energía que las de ión-litio.
- Diseño ultraligero (muy útil para equipos ultraligeros).
- Menor autodescarga.

Desventajas:

- Alta inestabilidad de las baterías si se sobrecargan y si la descarga se produce por debajo de cierto voltaje.
- Fabricación cara.

4.2.6.- Zebra (NaNiCl)

Es una de las baterías recargables que más prometen[9][21].

Ventajas:

- Su principal ventaja es su bajo precio (unas cuatro veces menos que las baterías de Li-ion con características similares).
- Posee tres veces más energía específica (125 Wh/kg) que las baterías de plomo-ácido.
- Posee unos 2.000 ciclos de vida y tiene una autonomía de unos 120 km.
- Necesita 6 horas para llegar a la carga completa en modo normal de carga. En modo de carga rápida necesita 1 hora para cargarse al 80%.

Desventajas:

- Operan en un rango de temperaturas que va de 270°C a 350°C, lo que requiere un aislamiento.
- Elevadas pérdidas térmicas cuando no se usa la batería.
- Limitación en su tamaño y capacidad.

Modec Electric Van usa estas baterías para el modelo de 2007. El automóvil eléctrico Th!nk City va equipado con baterías Zebra Na-NiCl de 17,5 kWh.

Menos comunes: baterías de zinc-air y baterías de sales fundidas.

Actualmente las dos baterías que parecen más económica y técnicamente posible son Li-ion y ZEBRA (NaNiCl₂)

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las características de las distintas baterías:

Tipo de baterías recargables	Densidad energética (Wh/kg)	Energía/volumen (Wh/litro)	Potencia/Peso (W/kg)	Número de ciclos	Eficiencia energética-%
Zebra (NaNiCl)	125	300	150	1.000	92,5
Polímero de litio	200	300	300	1.000	90,0
Iones de litio	80-160	170-450	1.800	1.000-3.000	90,0
Níquel-Hidruro Metálico (NiMH)	70-80	140-300	200-1.000	300-600	70,0
Níquel Cadmio (NiCd)	60	50-150	250	1.500	72,5
Plomo-ácido	10-35	60-75	250	400-800	82,5

Fuente: www.buchmann.ca - www.battery-faq.com

Tabla 3. Características técnicas de las distintas baterías.

4.2.7.- Supercondensadores

Tienen también gran importancia, como dispositivo de almacenamiento de energía en vehículos eléctricos, los **supercondensadores**[18].

Los supercondensadores pueden ser fuentes de energía primaria durante la aceleración y las subidas, así como para recuperar la energía del frenado porque son excelentes proporcionando ráfagas rápidas de energía. Usando un supercondensador en conjunto con una batería, se combina la potencia de actuación del primero con la buena capacidad de almacenamiento de energía de la última. Puede extender la vida de la batería, ahorrar en sustituciones y mantener costes, y permitir la reducción de tamaño de la batería. A la vez, puede incrementar la energía disponible para suministrar los picos



de potencia cuando sea necesario. Sin embargo, la combinación de supercondensador y batería requiere electrónica de potencia adicional, como un convertidor DC/DC, que incrementaría el coste del vehículo.

El uso del supercondensador para el frenado regenerativo puede mejorar notablemente la eficiencia del combustible bajo condiciones de conducción urbana de parada y marcha. Solo los supercondensadores pueden capturar y almacenar grandes cantidades de energía eléctrica (generada por frenado) y liberarla rápidamente para la siguiente aceleración.

4.2.8.- Batería de BaTiO_3

Existe otra batería con excelentes características diseñada por la compañía americana **EEStor**, la batería de BaTiO_3 . Esta batería no utiliza ningún tipo de reacción química para producir electricidad.[22]

Las características más notables de la patente de EEStor son:

- Coste de fabricación y peso menores que las baterías de ácido.
- Fabricación sencilla.
- No existe prácticamente límite de veces de carga.
- Contamina menos que las baterías normales por los materiales con los que está fabricada.
- Tiene una carga máxima de 52 kW/h, lo que equivale a 10 veces la capacidad de las actuales baterías.
- Son capaces de cargarse por completo en 5 minutos.

ZENN Motor Company, fabricante de coches eléctricos, ha anunciado que lanzará un modelo con estas baterías antes de finales de 2009. La velocidad máxima es de 125 km/h, y autonomía de 400 km. Es un coche pequeño pensado para ciudad y su precio ronda los 16.000 \$. Firmó un acuerdo con EEStor en 2004 para adquirir los derechos de uso de estas baterías.

En la tabla siguiente se muestran las especificaciones técnicas de la batería de EEStor, EESU (Electrical Energy Storage Unit), frente a otras tecnologías de baterías.



	Ceramic EESU	NiMH	LA (Gel)	Ión-litio
Peso (kg)	135	780	1655	340
Volumen (pulgada cúbica)	4493	17881	43045	5697
Ratio de descarga	0.02%/30 días	5%/30 días	1%/30 días	1%/30 días
Tiempo de carga para EV (lleno)-100% de carga	3-6 min	>3 h	3-15 h	>3 h
Pérdida de vida con los ciclos	Nada	Alto	Muy alto	alto
Materiales tóxicos	Nada	Si	Si	Si
Temperatura vs. Efecto en almacenamiento de energía	Despreciable	Alta	Muy alta	Alta
Coste por kWh	Bajo	Medio	Bajo	Muy alto

Fuente: EESstor, Inc., basado en 52 kWh

Tabla 4. Especificaciones técnicas: EESstor vs otras tecnologías de baterías

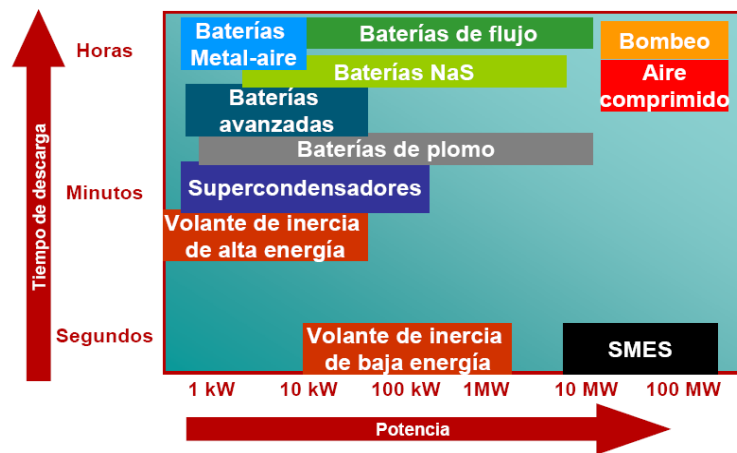
A continuación, en la tabla 5 se muestran las distintas baterías y su fabricante más común, su aplicación y sus características. En ella se observa, que efectivamente, las baterías de Ión Litio son las de mayor potencia específica.

Batería	Aplicación	Ah	V	Wh/kg	Resistencia (mΩ)	W/kg	SOC útil
Plomo-ácido							
Panasonic	HEV	25	12	26.3	7.8	389	28%
Panasonic	EV	60	12	34.2	6.9	250	---
NiMH							
Panasonic EV	EV	65	12	68	8.7	240	---
Panasonic EV	HEV	6.5	7.2	46	11.4	1093	40%
Ovonic	EV	85	13	68	10	200	---
Ovonic	HEV	12	12	45	10	1000	30%
Saft	HEV	14	1.2	47	1.1	900	30%
Ión- Litio							
Saft	HEV	12	4	77	7.0	1550	20%
Saft	EV	41	4	140	8.0	476	---
Shin-kobe	EV	90	4	105	0.93	1344	---
Shin-kobe	HEV	4	4	56	3.4	3920	18%

Tabla 5. Características de varias tecnologías/tipos de baterías para uso en EV y HEV[18]

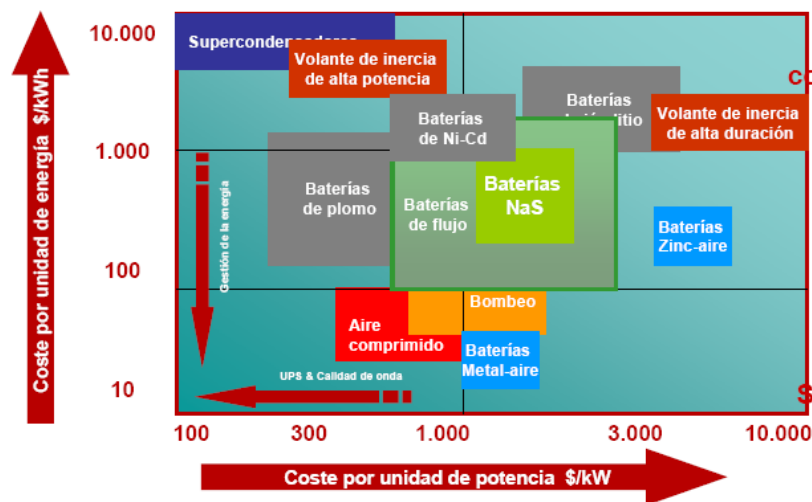
En el Gráfico 2 se muestran las capacidades de algunos sistemas de almacenamiento [23]. En baterías avanzadas se incluyen las de Plomo ácido, Ni-Cd e Ion-Litio.

La capacidad del sistema viene determinada por la densidad de energía, la potencia de los dispositivos y el tiempo de descarga.



Gráfica 2. Capacidades de los sistemas de almacenamiento.[23]

En el Gráfico 3 se presenta el coste de la energía almacenada por esos sistemas a día de hoy [23].



Gráfica 3. Coste de la energía almacenada.[23]

4.3.- “REPOSTAJE DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS”

Para el desarrollo del coche eléctrico es necesaria una red de postes de recarga y de instalaciones domésticas y en edificios públicos, lo que los especialistas denominan interfaz entre el sistema de generación y distribución y el consumidor final.

Las empresas que están realizando estudios y proyectos sobre la implantación de VE (como Better Place[24] o Elektromotive[25]), proponen puntos de recarga en:

- Garaje individual.
- Garajes colectivos privados.
- Aparcamientos públicos.
- Aparcamientos en las calles.

Y otras alternativas como:

- Gasolineras eléctricas para recargas en minutos.
- Gasolineras eléctricas para cambio de baterías.

Las baterías de los vehículos eléctricos puros y de los híbridos enchufables (PHEV) deben ser periódicamente recargadas. Esta carga se suele realizar más comúnmente a través de la red eléctrica (en los garajes de las viviendas o usando puntos de recarga de la calle o centros comerciales). El tiempo de carga está limitado primeramente por la capacidad de conexión de la red.

La recarga de los vehículos eléctricos puede ser conductiva o inductiva. El sistema conductivo es una conexión directa a la red, tan simple como enchufar el vehículo mediante cables especiales de alta capacidad con conectores que protejan al conductor de los altos voltajes. El acoplamiento inductivo tiene la ventaja de imposibilitar cualquier electrocución, pero es más caro y menos eficiente que el primero. [26]

La electricidad de la red se suministra en corriente alterna al vehículo. Normalmente el cargador la convierte en corriente continua y la suministra al voltaje adecuado a la batería, desde donde se suministra al motor y a las ruedas. Algunos motores funcionan con corriente alterna, por lo que un inversor debe convertir la corriente continua de la batería. Las estaciones de recarga rápida tendrán 400 V y 63 A. [3]

Una salida de corriente normal de un hogar está entre 1.5 kW (en Estados Unidos, Canadá, Japón y otros países con 110 V) y 3 kW (en países con 240 V, como es el caso de España). Hay países europeos que alimentan el consumo doméstico con un sistema trifásico y 16-25A, lo que permite una capacidad teórica de 10-16 kW.

Suponiendo un $\cos\varphi=1$:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 16 = 10530 \text{ W} \quad \text{ec.3}$$

$$\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 25 = 16454 \text{ W} \quad \text{ec.4}$$

Donde cada variable es:

P *Potencia*

U *Tensión de línea*

I *Intensidad de línea*

Un coche eléctrico actual se puede cargar en un toma de red doméstica, con la potencia de línea de 3 a 7 kW (carga de 6 a 3 horas), mientras un poste “electrolinera” para poder realizar recargas rápida (aproximadamente 25 minutos) necesita de 50 kilowatios.

Lo vemos:

Suponiendo una batería de 20 kWh, y potencias de línea 3, 7 y 50 kW, vemos el tiempo que tardan en cargar sabiendo que:

$$E = P \cdot t \quad \text{ec.5}$$

Potencia (kW)	Tiempo (h)
3	6.6
7	2.9
50	0.4

Tabla 6. Tiempo de carga.

Una red “inteligente” de decenas de miles de puntos de recarga en calles y aparcamientos, con el software apropiado, diría al vehículo cuando debe recargar, parar e incluso verter la electricidad a la red.

Las principales empresas de fabricación e instalación de postes de recarga son:

- Better Place: esta empresa ha llevado su idea ya a Israel, Dinamarca, Australia, Canada, California y Hawai. Buscan que el sistema de recarga sea lo más estándar posible para que la integración del VE sea lo más fácil y rápida posible. Los clientes dispondrán de un punto personal de carga de 220 V en su garaje o cochera. Un punto de recarga de esta empresa se puede ver en la Imagen 14.



Imagen 14. Punto de recarga de Better Place. [24]

- Elektromotive: empresa de Reino Unido que tiene ya instalados unos 80 puntos de recarga por distintas ciudades de Inglaterra. El dispositivo se llama Elektrobay, y suministra 240 V de AC a 13 A para recargar el VE. Es adecuado para todos los VE y PHEV que sean compatibles con el voltaje suministrado. Este dispositivo se puede ver en la Imagen 15.



Imagen 15. Elektrobay.[25]

Para la recarga de vehículos eléctricos existen tres posibilidades:

1. Recarga de baterías a través de un enchufe: mediante un cable conectamos un extremo al vehículo y el otro extremo a una toma de corriente. Ésta puede ser un enchufe ordinario de un garaje en una vivienda (como ocurre en varios hogares en California) o un punto de recarga instalado específicamente para esta labor (ver Imagen 14 y 15).
2. Cambio de una batería descargada por otra totalmente cargada en estaciones de cambio de baterías: este caso es lo más parecido al método de repostaje de combustible actual. Se trata de un establecimiento, similar a las gasolineras (“electrolineras”), dónde, una vez que la batería tenga su nivel de carga bajo, se para y se cambia la batería descargada por otra cargada.
3. Plan de alquiler de baterías: este sistema funciona como los planes de telefonía móvil. Se puede pagar por kilómetro recorrido, contratar una serie de kilómetros fijos al mes o una tarifa plana de kilómetros.



Actualmente, tres compañías están trabajando en planes de alquiler de baterías:

- **Greenstop** [27] ha completado ensayos de su ENVI Grid Network. Greenstop TM está desarrollando una red de energía que combina el suministro de “energía de combustible” con una alerta monitorizada y un sistema de gestión para los vehículos de baja y cero emisión de contaminantes. Ya en 2003 los fundadores de Greenstop vieron la oportunidad de vender “energía de combustible” para vehículos usando una suscripción y un modelo de negocio similar al de la industria de telefonía móvil. Estas suscripciones son muy familiares para la mayoría y serán vendidas por pago de kilómetros, kilómetros por mes y kilómetros ilimitados.
- **Better Place**: empresa Californiana que ofrece un plan leasing de baterías, pagando por kilómetro. Para ello se alquila o se cobra una cuota mensual por la batería o incluso el vehículo, a semejanza de lo que ocurre a menor escala con la telefonía móvil.
- **Th!nk Car** [21]: empresa Noruega que planea poner en alquiler las baterías para sus coches eléctricos City que se van a usar en 2010.

4.4.- PROYECTOS SIGNIFICATIVOS

➤ REVA (India)

En Enero de 2009 anunció el lanzamiento de un coche eléctrico con baterías de ión-litio, denominado REVA L-ion. Es el resultado de más de dos años de pruebas y experimentación. Posee una autonomía de 120 km por carga completa y alcanza una velocidad máxima de 80 km/h. Se carga completamente en 6h en un enchufe convencional. Utiliza baterías de LiFePO₄, que no requieren ningún tipo de mantenimiento. El nuevo pack de baterías tendrá 3 años de garantía o hasta 40.000Km. REVA



Imagen 16. Reva-i.[36]

ha anunciado también el lanzamiento de una estación de carga rápida, que permita realizar el 90% de la carga en apenas 1h. Las estaciones funcionan con potencia trifásica, y se ofertará mediante compra o leasing. [15]

➤ ELECTROMOTIVE (Reino Unido)

Elektromotive [25](proveedor líder de tecnología para estaciones de recarga para vehículos eléctricos) y Renault-Nissan han unido sus fuerzas para acelerar la instalación de redes de carga para vehículos eléctricos, colaborando en “Partnership for Zero-Emission-Movility”. El puesto de carga que instalan se llama Elektrobay. Hay instalados más de 40 puestos de carga en Londres y otros 40 en otras ciudades del Reino Unido, distribuidos por las carreteras y en distintos puntos de aparcamientos.

Suministra 240 V de AC a 13 A para recargar el VE.

Es adecuado para todos los VE y PHEV que sean



Imagen 17. Elektrobay.[25]

compatibles con el voltaje suministrado.

Para poder utilizar el Elektrobay tienes que tener un vehículo eléctrico, debes vivir o trabajar en la ciudad donde estén estos postes y debes registrarte y pagar la cuota correspondiente. Una vez registrado recibes el cable necesario para poder recargar en sus instalaciones, dos llaves de acceso al Elektrobay, instrucciones detalladas de uso, una lista con todas los puntos de recarga y acceso a una línea de ayuda.

Información más detallada en la web www.elektromotive.co.uk

➤ E-MOBILITY BERLIN (Alemania)

Este proyecto se anunció en septiembre de 2008. Es un proyecto de prueba para una unión de coches eléctrico y estaciones de carga en Berlín que viene de la mano del fabricante Daimler AG y RWE AG[28]. Es un proyecto medioambiental que incluirá más de 100 vehículos eléctricos de Mercedes-Benz y Smart (Smart fortwo ed) y 500 puntos de recarga suministrados por RWE (que se encargará del desarrollo, instalación y operación de las infraestructuras de recarga).



Imagen 18. Smart fortwo ed. [28]

El proyecto está financiado en su mayoría por fondos públicos debido a su potencial para el estudio de infraestructuras sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

RWE y Daimler también colaboran entre sí, desarrollando un sistema inteligente de cobro. Un protocolo de comunicación entre el punto de recarga y el Smart asegura el pago automático de la electricidad a repostar. Dado que estas estaciones de energía cuentan con una mayor potencia que una red eléctrica casera, el proceso de recarga de los vehículos eléctricos rondaría los 10 o 15 minutos de media.



La empresa fue fundada en 2007 por Shai Agassi en California con el objetivo de reducir la dependencia global del petróleo.

El Proyecto Better Place[24] consta de:

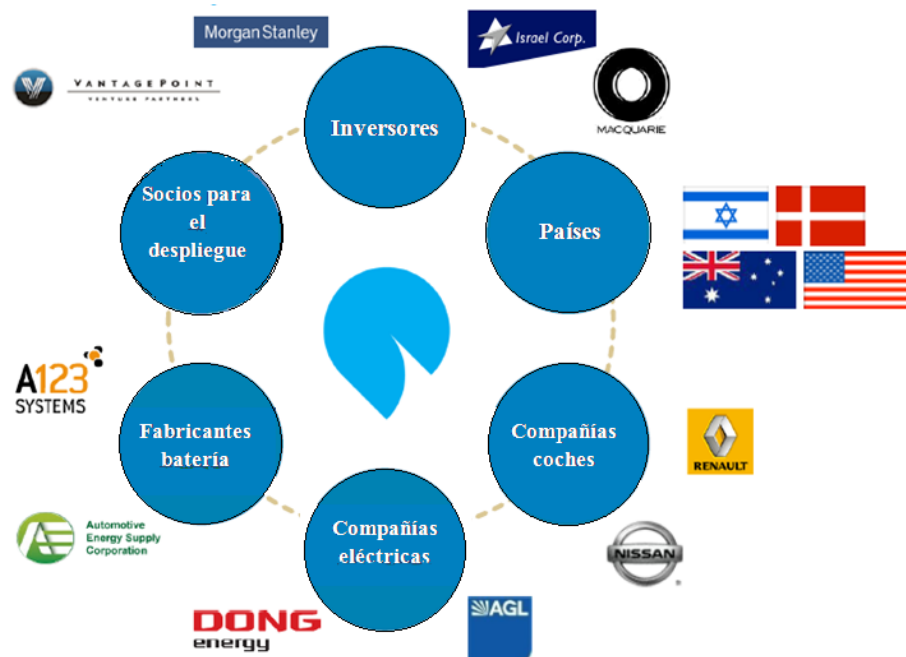
- El vehículo eléctrico, fabricado por Renault-Nissan, batería y software.
- Infraestructura.
- Puntos de carga en garajes de casas privadas, en edificios de viviendas, en parkings de oficinas, en aceras...
- Estaciones de cambio de baterías para viajes de larga distancia. El cambio de batería lleva unos 5 minutos.
- Centro de servicio y control
- Modelo único de negocio: el sistema de carga es un modelo de suscripción donde el cliente paga por kilómetro recorrido.

Su expansión desde el 2007 se muestra en la siguiente tabla:

OCT 2007	Lanzamiento de Better Place; crece 200 M\$ de la fundación.
ENE 2008	Lanzamiento de Better Place Israel en Jerusalem; también anuncia su asociación con el proveedor Renault-Nissan.
MAR 2008	Lanzamiento de Better Place Dinamarca en Copenague.
OCT 2008	Lanzamiento de Better Place Australia en Melbourne.
NOV 2008	Lanzamiento de Better Place California en la Bahía de San Francisco.
DIC 2008	Lanzamiento de Better Place Hawaii en Honolulu.
ENE 2009	Better Place Ontario, Canadá.
SEP 2009	Lanzamiento de Better Place Japón en Tokio.

Tabla 7. Expansión de Better Place. [24]

Las empresas participantes actualmente son:



Fuente: Better Place

Imagen 19. Conjunto de empresas participantes.

■ PROYECTO REVE (España)

El proyecto REVE (Regulación Eólica con Vehículos Eléctricos) [9] consiste en la realización de un estudio que evalúe de forma detallada los retos técnicos clave y los aspectos económicos más importantes, para la creación de una infraestructura de red para que los coches eléctricos puedan actuar como almacenes energéticos de la red eléctrica mientras no estén circulando y por lo tanto contribuyan a la mejora del factor de carga del sistema eléctrico en su conjunto.

En este proyecto se analizará cómo la penetración masiva de este tipo de vehículos influirá positivamente en la garantía de la evacuación de la energía eólica, teniendo en cuenta el crecimiento de la potencia eólica instalable.

El punto de partida del proyecto es, por lo tanto, el almacenamiento de electricidad en períodos de baja demanda (horas valle), donde existen potenciales recortes de bajar la producción de los parques eólicos.

Para finalizar se realizará un estudio socioeconómico en el que se detallará un nuevo modelo económico en el que la adquisición del vehículo y las baterías se hace por separado. Los consumidores comprarán su vehículo y suscribirán un abono para su provisión de energía, que incluirá la utilización de la batería facturada por kilómetro recorrido.

El Proyecto REVE está coordinado por la Asociación Empresarial Eólica. CENER, GAIA, ENDESA y CIRCE, junto con AEE participarán en la elaboración del proyecto.

➤ PROYECTO MOVELE (España)

Proyecto piloto para la Movilidad Eléctrica. [29] Este proyecto es una iniciativa del Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (IDAE) destinado a demostrar la viabilidad técnica, económica y energética de la movilidad eléctrica en entornos urbanos y periurbanos. Contempla la introducción de 2.000 vehículos eléctricos, preferentemente en flotas, y la instalación de 500 puntos de recarga en 2 años. Según el Plan Integral de Automoción, la puesta en marcha de 2.000 vehículos eléctricos supone un ahorro energético anual de 2.772 tep y la reducción de 4.471 t de CO₂ anuales. Es un plan impulsado por el Ministerio de Industria español y el IDAE.

Datos básicos de la red piloto Movele				
	Sevilla	Madrid	Barcelona	TOTAL
Puntos de recarga (uds)	75	280	191	546
Inversión en instalaciones (€)	488.498	1.366.000	704.666	2.559.164
Apoyo IDAE	144.000	586.000	287.000	1.017.000

Fuente: IDAE

Tabla 8. Datos del proyecto Movele.

- Periodo de ejecución: 2009-2010
- Presupuesto IDAE: 10 M€ (Apoyo adquisición: 8 M€. Apoyo infraestructura: 1,5 M€. Asistencia técnica y análisis: 5 M€).
- Convenio con municipios: marzo/abril 2009.
- Convocatoria de ayudas: mayo 2009

➤ **PROYECTO MERGE, 7º Programa Marco de la Unión Europea (España)**

La iniciativa Mobile Energy Resources in Grids of Electricity (Merge) [30] consiste básicamente en evaluar el impacto que tendría la introducción masiva del vehículo eléctrico en las redes de transporte y distribución, en la planificación y en la operación del sistema eléctrico, así como estudiar los mecanismos regulatorios adecuados para impulsar este desarrollo en las mejores condiciones para el sector eléctrico.

Cuenta con un presupuesto de más de 4,5 millones de euros y tiene una duración de dos años.

Entre otros objetivos, se va intentar desarrollar una tecnología inteligente que optimice la demanda, analizar las inversiones y determinar las posibilidades de aprovechar las energías renovables.

En el consorcio participan TSO como REE (España) y REN (Portugal), empresas distribuidoras de electricidad europeas entre las que se encuentra Iberdrola y varias universidades y consultores en temas de automoción.

5.-ANÁLISIS Y RESULTADO DEL IMPACTO

Las importantes variaciones de la demanda eléctrica a lo largo de las distintas horas del año requieren sobredimensionar tanto los recursos de generación como las redes necesarios para el suministro de las puntas de demanda. Para limitar esto se deben promover medidas de gestión de demanda que incidan sobre las puntas, reduciéndolas y desplazando los consumos en el tiempo, contribuyendo a una mayor eficiencia del sistema eléctrico en su conjunto.

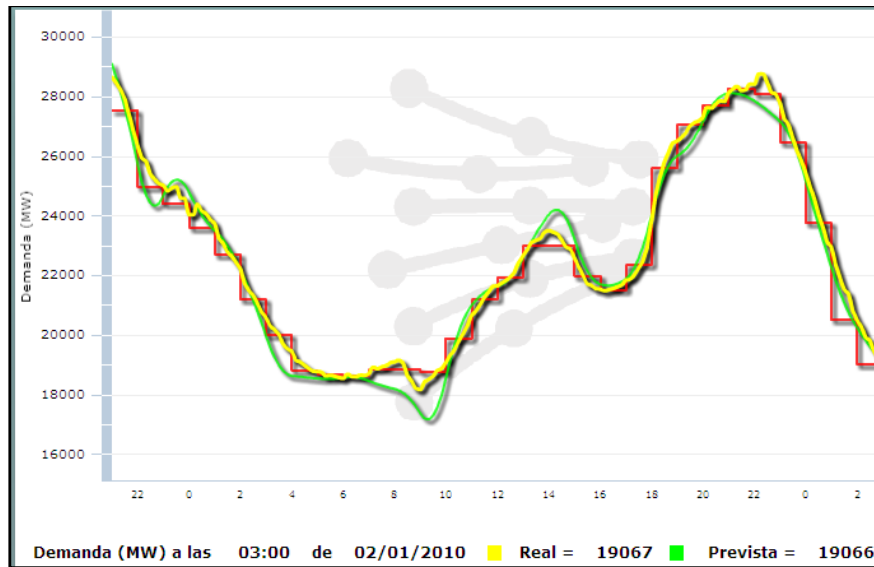
Los objetivos de reducción de la demanda, tanto de energía como de potencia, manteniendo el bienestar y desarrollo económico, implican un mayor esfuerzo en gestión de la demanda y eficiencia energética. El almacenamiento de energía que puede aportar la recarga del vehículo eléctrico es un factor clave, pues facilitará el aplanamiento de la curva de la demanda eléctrica, de forma que los requerimientos de generación gestionable en horas valle y de punta sean cada vez más próximos.

Asimismo, este almacenamiento permitirá optimizar la utilización de las redes al dotarlas de mayor flexibilidad y, de forma complementaria, incrementará la fiabilidad y calidad de suministro a los clientes.

Además ayudará a reducir los vertidos de producción renovable (como se vio en el apartado 1), aprovechando la energía sobrante para cargar los vehículos eléctricos y consiguiendo un aplanamiento de la curva de demanda. Un ejemplo de esta situación de vertido se dio el pasado 1 de enero de 2010, como se comenta en el siguiente apartado.

5.1. EL PROBLEMA DE LOS VERTIDOS

En la Gráfica 4 se muestra la demanda en tiempo real del día 1 de enero de 2010. Como se puede observar es un día de baja demanda en general como lo son el 25 de diciembre y el viernes y sábado de Semana Santa. El pico de demanda se sitúa en 29.000 MW y el valle en poco más de 18.000 MW.

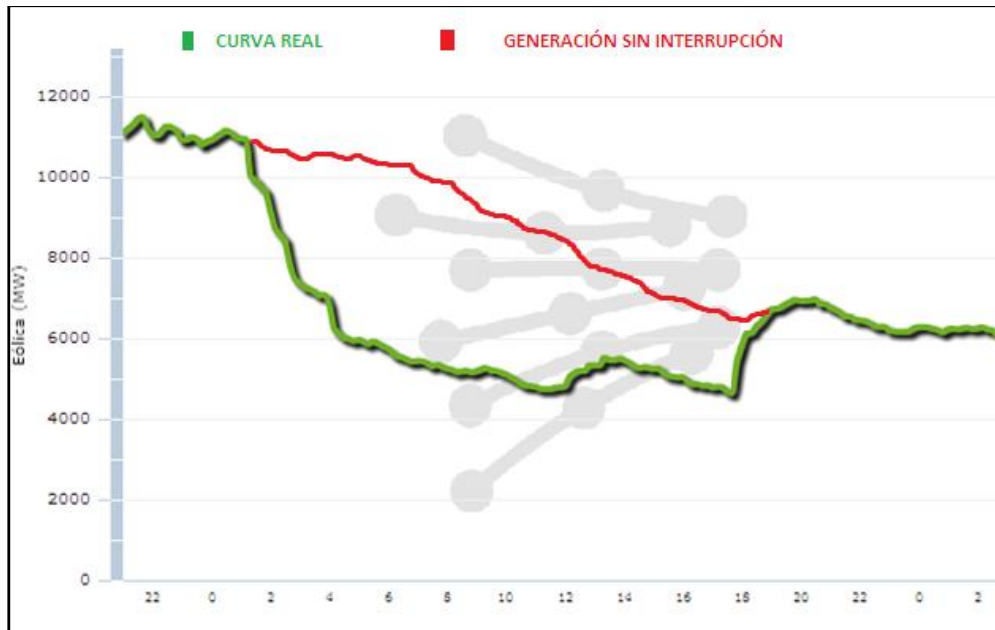


Fuente: REE

Gráfica 4. Demanda en tiempo real del día 1 de enero de 2010.

En la Gráfica 5, se muestra la producción eólica real del mismo día (en verde) y la previsión de producción eólica que hubiera habido si no se hubiera procedido a la interrupción de parte de esa generación. Se ve como a partir de las 2:00 se produce un descenso brusco de la generación eólica. Esto no es debido a un proceso natural, sino a la desconexión de aerogeneradores para evitar vertidos de energía. Esta desconexión se realizó siguiendo las consignas del operador del sistema, al objeto de garantizar el suministro y garantizar la estabilidad del sistema eléctrico.

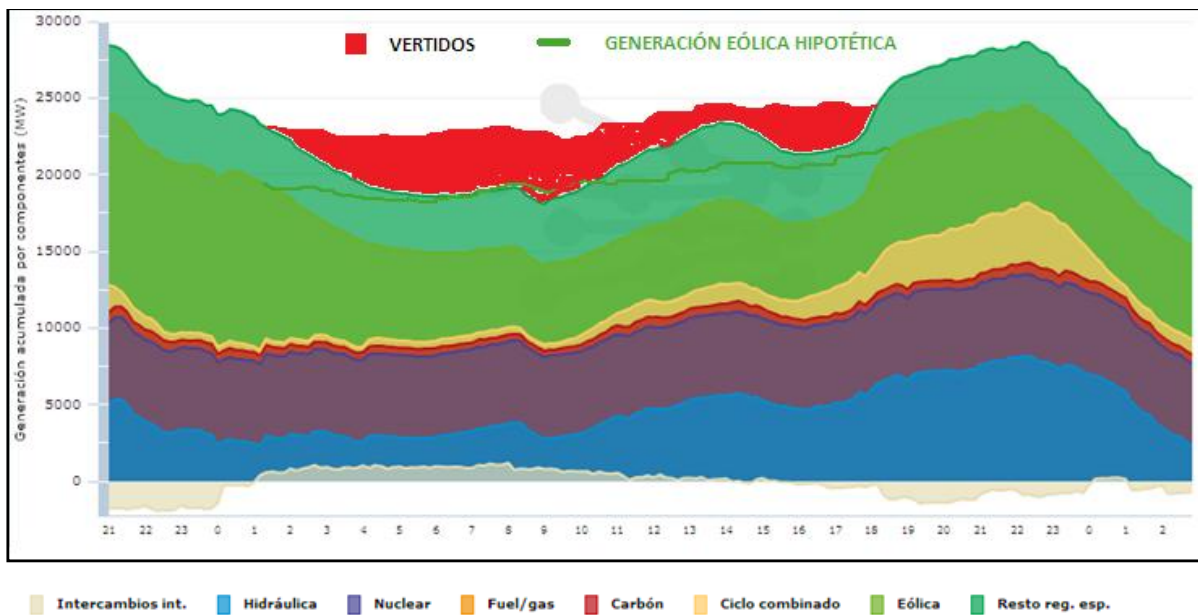
Si llevamos esta hipotética producción eólica (curva roja de la Gráfica 5) a la gráfica de producción total real de ese día (Gráfica 6) se observa que hubiera habido momentos donde la producción de electricidad sería mucho mayor que la demanda (región en rojo), que daría lugar a un fuerte desequilibrio. Dado que esta energía sobrante no se puede acumular, se pierde. Es aquí, sin embargo, donde con la integración de vehículos eléctricos y con gestión inteligente de la recarga, esta energía se podría aprovechar para cargar las baterías de dichos vehículos. Este hecho hace que tanto REE, como MITYC e IDAE estén sugiriendo que la recarga de los vehículos eléctricos se realice mayoritariamente en horas de bajo consumo, horas valle, lo que aumentaría la eficiencia del sistema eléctrico en su conjunto y reduciría los vertidos de renovables.



Fuente: REE

Gráfica 5. Producción eólica en tiempo real del día 1 de enero de 2010.

La curva verde representa la producción eólica real y la curva roja la previsión. El área comprendida entre las curvas roja y verde representa la energía eólica vertida ese día.



Fuente: REE

Gráfica 6. Generación total en tiempo real del día 1 de enero de 2010.

Por tecnologías, la Gráfica 6 representa el mix de generación que hubo ese 1 de enero y se resalta en rojo la producción eólica vertida.



Cuando existe mucha producción y baja demanda llegamos a situaciones como la vista el día 1 de enero, en que durante aproximadamente 17 horas se produjo una limitación de producción eólica de unos 2.500 MW, lo que se tradujo en un vertido de 44 GWh.

De las estadísticas de REE, se conoce que ya en el año 2008 se registró una limitación de producción eólica el día 2 de noviembre.

En el 2009 se registraron dos limitaciones, el día 15 de noviembre y el día 30 de diciembre.

En este año 2010, de momento ya se ha registrado una limitación de producción el día 1 de enero. (Fuente: REE)

Se estima que, como consecuencia de la continua integración de eólica y la evolución del consumo, este hecho ocurrirá de dos a tres días más durante el año 2010, y con más frecuencia cada año ya que la potencia instalada aumenta al ritmo previsto (según la Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2016) pero la demanda no, de hecho, en el 2009 se registró un decrecimiento el 4,6%. [5]

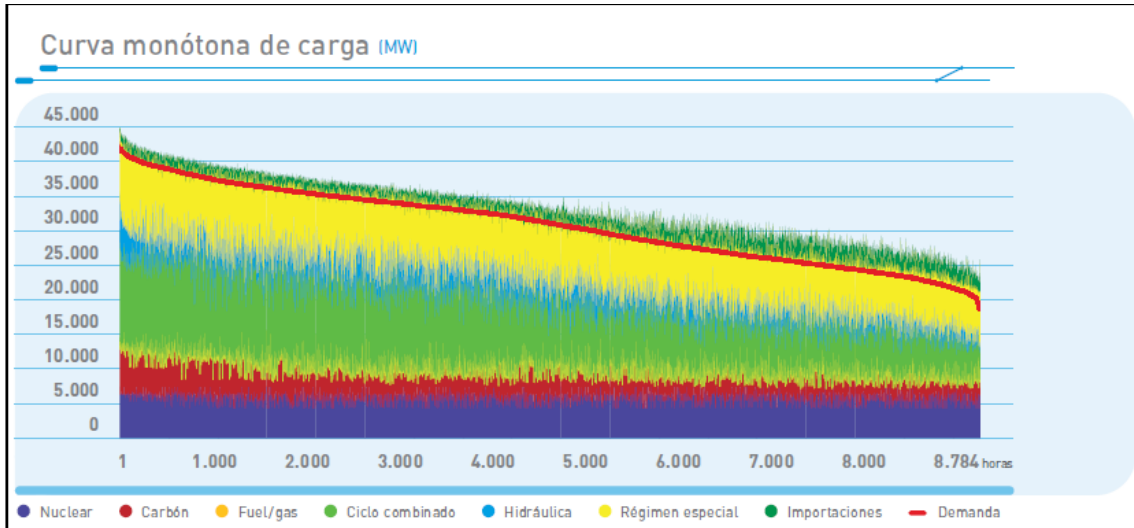
Si no se aumenta la demanda en valle y no hay más almacenamiento, se verterá más energía. Se está ante un reto importante, ya que la demanda en valle depende en gran medida del consumo industrial y no tanto del consumo residencial. Razón por la que se están buscando iniciativas que ayuden a mitigar el vertido de renovable.

De ahí, que una alternativa factible para conseguir esto sea la incorporación del vehículo eléctrico al parque automovilístico nacional.

5.2. RESULTADO DE INTEGRACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

La integración de los vehículos eléctricos mejorará la eficiencia energética del transporte en su conjunto y la eficiencia del sistema eléctrico.

Permitirá la incorporación de fuentes renovables y la reducción de diferencias puntas/valles, que puede alcanzar diferencias de hasta 25.000 MW, como se puede ver en la curva monótona de carga mostrada a continuación.



Fuente: REE

Gráfica 7. Curva monótona de carga del sistema eléctrico peninsular español en 2009.

Las zonas a destacar de esta curva son tanto el principio (valores punta) como el final (valores valle), y es sobre estos sobre los que se debe incidir, bajando los primeros y aumentando los segundos (por ejemplo con la carga de vehículos eléctricos).

Un vehículo eléctrico que consuma unos 16 kWh cada 100 kilómetros y recorra unos 17000 km al año, consumirá una energía E igual a :

$$E = \frac{16 \text{ kWh}}{100 \text{ km}} \cdot 17000 \frac{\text{km}}{\text{año}} = 2720 \text{ kWh/año} \quad \text{ec.6}$$

Si suponemos una incorporación de 1 millón de vehículos eléctricos, esta energía sería aproximadamente unos 3 TWh al año.

La demanda eléctrica en la Península durante el pasado año 2009 fue 251 TWh, y la eólica generó 35,4 TWh [5], por lo que el consumo de 1 millón de vehículos eléctricos en España (3 TWh/año) supondría:

$$\frac{3}{251} \cdot 100 = 1\% \text{ de la demanda de electricidad en 2009} \quad \text{ec.7}$$

$$\frac{3}{35,4} \cdot 100 = 8.5\% \text{ de la generación eólica en 2009} \quad \text{ec.8}$$

Por lo tanto, en términos de demanda anual, el impacto en el sistema eléctrico de una integración progresiva de 1 millón de vehículos eléctricos es asumible.

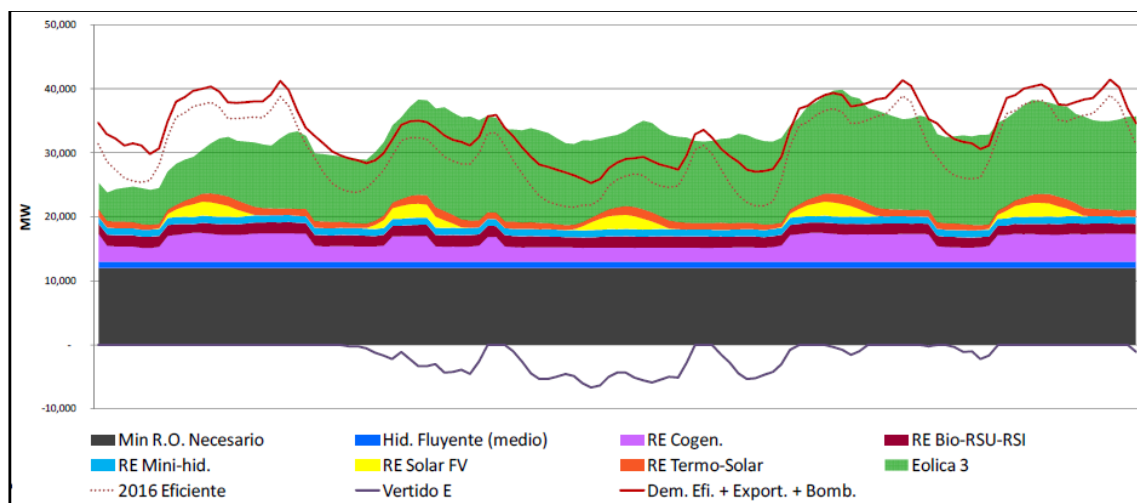
Pero, a nivel de sistema eléctrico se deben tener en cuenta ciertos parámetros de diseño de la recarga, como en qué momento del día se realiza la recarga, durante cuánto tiempo y en qué condiciones (simultaneidad, gestión inteligente).

En el horizonte 2016 (según la información de REE, debido a la caída del consumo por la crisis, se va a asumir un retraso de 4 años respecto a las previsiones de demanda del informe de planificación 2008-2016 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, considerando los datos del año 2011), la previsión de demanda está en unos 300 TWh, por lo que la integración de 1 millón de vehículos eléctricos representa apenas un 1% sobre el total.

Además, la previsión de generación futura en Régimen especial considera, para 2016, 29000 MW de potencia eólica instalada, cuya producción se estima en 62000 GWh. [34]

Si la energía que consumirá 1 millón de VE al año es 3TWh, se ve que se podría cubrir perfectamente con energía limpia.

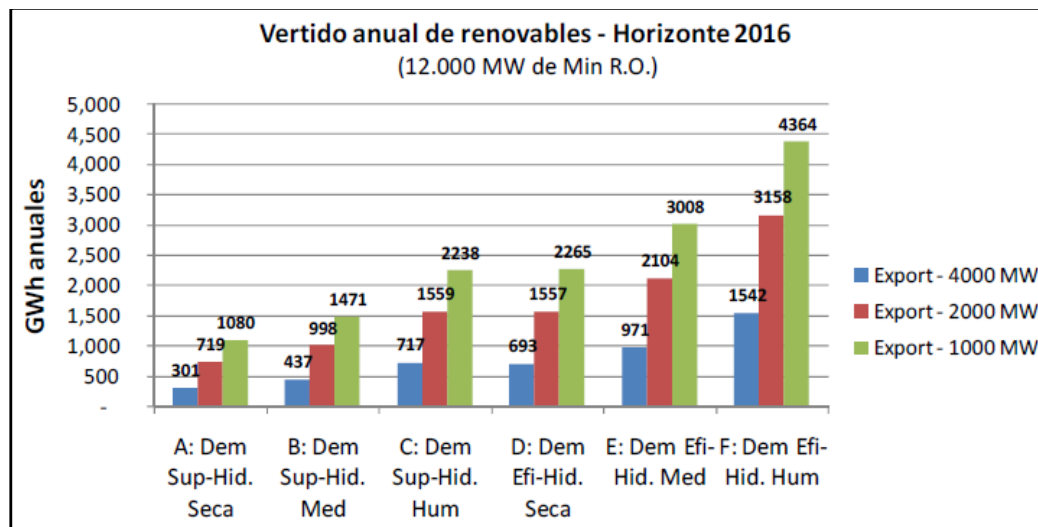
Según los últimos estudios de REE, la previsión de vertidos en una semana tipo para 2016 se muestra en la Gráfica 8.



Gráfica 8. Integración y vertido de renovables en el sistema. Horizonte 2016. Semana tipo.

En esta gráfica se muestra la producción prevista para el 2016 por tecnologías. La curva de color rojo muestra el consumo total de potencia, es decir, la demanda eficiente más las exportaciones por intercambios internacionales más el consumo por bombeo. La diferencia entre la producción y el consumo es la curva gris, que representa los vertidos.

Considerando demanda superior o eficiente, distintos escenarios de exportación (de 4000 MW a 1000 MW) y los posibles años hidráulicos (seco, medio y húmedo), REE ha obtenido como resultado de restar a la producción prevista para 2016, la demanda y los consumos previstos para estos distintos escenarios, una cantidad de vertidos de régimen especial que oscilarían entre 0,3-4,4 TWh/ año. Gráficamente se puede ver a continuación.



Fuente: REE

Gráfica 9. Vertido anual de renovables en horizonte 2016 para los distintos escenarios de exportación y tipo de año hidráulico.

Se observa que los mínimos vertidos se producen para una exportación de 4000MW y supuesto año hidráulico seco.

Por lo tanto, lo ideal para reducir estos vertidos es tener una alta exportación, para lo que habría que reforzar las interconexiones internacionales y las redes nacionales para asumir esta capacidad de intercambio, e incrementar el consumo con los bombeos y la demanda superior. La otra alternativa posible es la carga de los vehículos eléctricos durante las horas valle para compensar los posibles vertidos de régimen especial.

A continuación se va a estudiar tres horizontes para la recarga del vehículo eléctrico, dependiendo del tiempo de recarga.

Se llamará:

- H1 a la recarga en 20 minutos (0,33 horas).
- H2 a la recarga en 4 horas.
- H3 a la recarga en 8 horas.

Teniendo en cuenta esto, y suponiendo una alimentación monofásica, calculamos la potencia de recarga P que requieren el VE y la intensidad I correspondiente en la tabla 9 a partir de las fórmulas siguientes:

$$P = E/t \quad \text{ec.9}$$

$$I = P/V \quad \text{ec.10}$$

Donde la energía de las baterías es $E=20$ kWh y t el tiempo de recarga.

	P (kW)	I(A) a 220V
H1	60	273
H2	5	23
H3	2,5	11

Tabla 9. Potencia y corriente calculados en función de los distintos horizontes.

El primer valor de corrientes obtenido es demasiado elevado. Sin embargo, los dos siguientes son asumibles por enchufes domésticos, que es la forma de carga deseable, ya que los puntos de carga instalados en las calles y garajes tienen, en principio este tipo de conexión.

Por lo tanto, para que la carga se realice a nivel doméstico los tiempos deben ser mayores de 4 horas (preferiblemente en torno a 8 horas).

Del informe de “Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2016” [34], considerando el escenario del operador del sistema eléctrico, se tiene que la demanda peninsular en 2016 será 299 TWh (asumiendo los 4 años de retraso) y la producción 369 TWh.

Según esta misma fuente, las puntas de potencia media horaria de invierno y verano

serán 53.300 y 48.700 MW, respectivamente.

Con estos datos, se va a calcular qué porcentaje de la demanda representaría la recarga del parque de VE en cada uno de los horizontes planteados. Los resultados están registrados en la tabla 10.

	P(MW)	%SOBRE PUNTA DE INVIERNO	% SOBRE PUNTA DE VERANO
H1(100% simultaneidad)	60000	113	123
H1'(100% simultaneidad de 19-22h)	6667	12,5	13,7
H2(100% simultaneidad)	5000	9,4	10,3
H3(100% simultaneidad)	2500	4,7	5,1

← No
realista

Tabla 10. Resultado de integración de 1 millón de VE. Escenario Operador del Sistema.

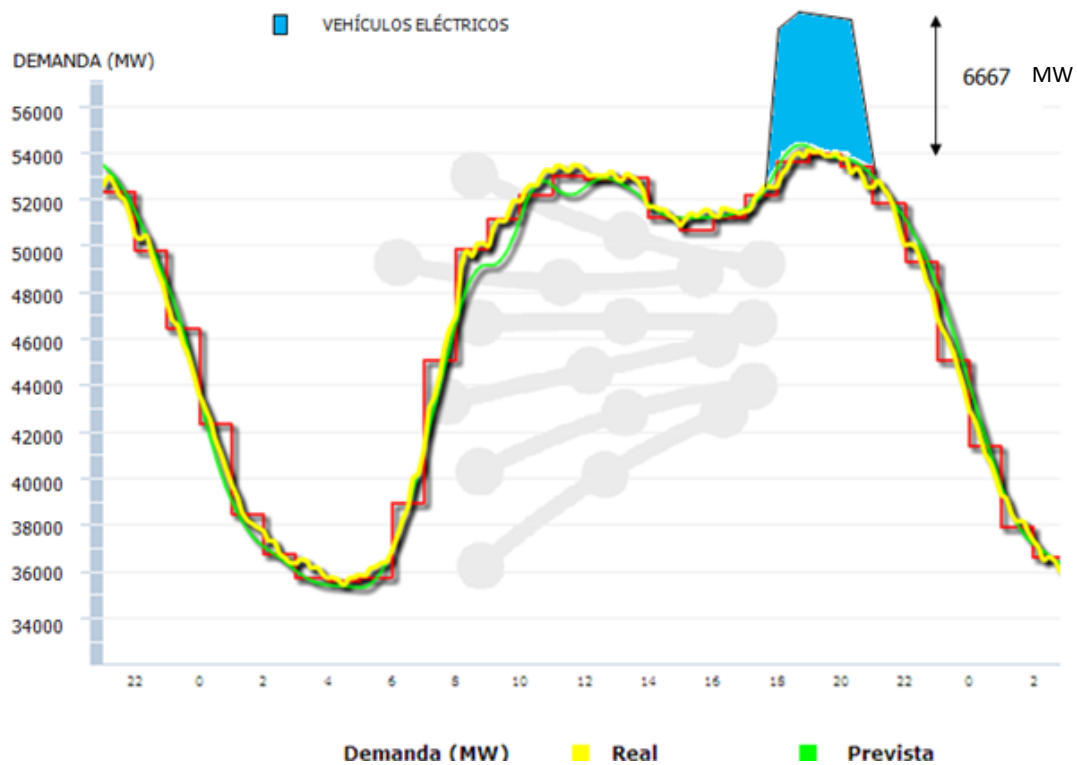
A continuación, se ve gráficamente el resultado de esta integración en cada horizonte posible para el año 2016:

Se va a escoger un día tipo invierno por ser el caso más desfavorable.

- a) Recarga en 20 minutos del 100% del parque de 19-22 h (día tipo invierno).

En el supuesto que la recarga del millón de vehículos se distribuyera en las 4 horas del periodo, el incremento de la potencia punta rondaría los 7000 MW, y supondría un mayor sobredimensionamiento del sistema y una mayor ineficiencia.

Este sobredimensionamiento también afectaría a las horas valle y no implicaría una reducción de los vertidos en el régimen especial, agravando los problemas ya existentes.



Fuente: REE

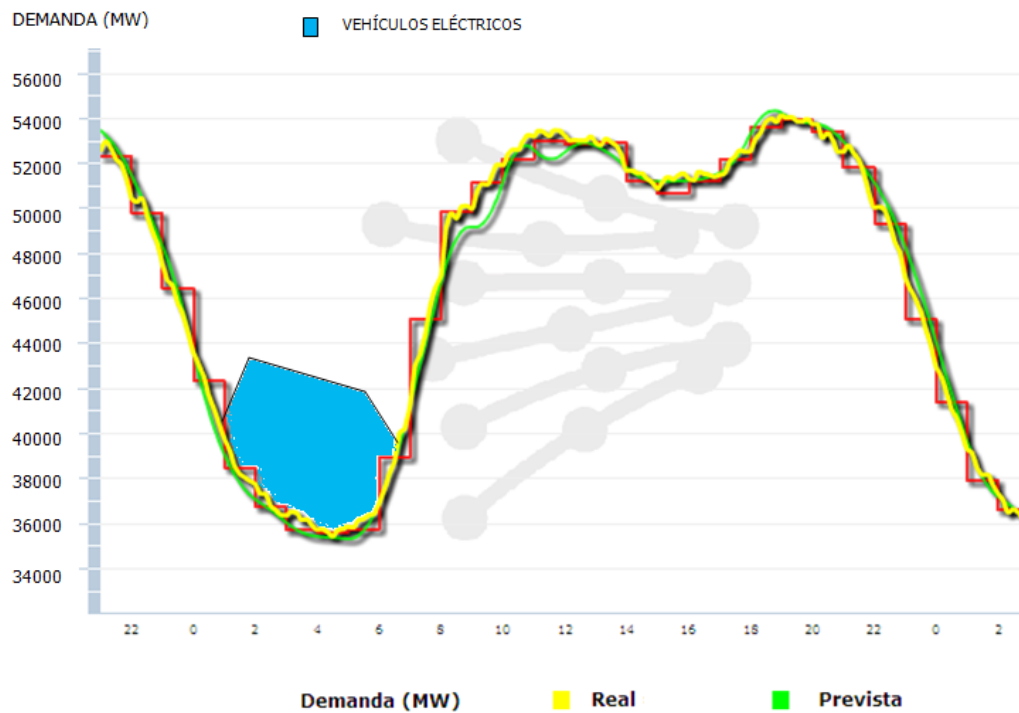
Gráfica 10. Perfil de demanda para H1'.

b) Recarga simultánea en 4 horas (día tipo invierno). Recarga en valle.

En esta hipótesis, en el supuesto que la recarga del millón de vehículos se distribuyera en las 4 horas del periodo se produce un salto brusco de unos 5000 MW como máximo en periodo valle, que es asumible por el sistema.

Si bien, esta opción provoca inestabilidades en el sistema, pero por otro lado, favorece una mayor integración de renovables y una mayor eficiencia.

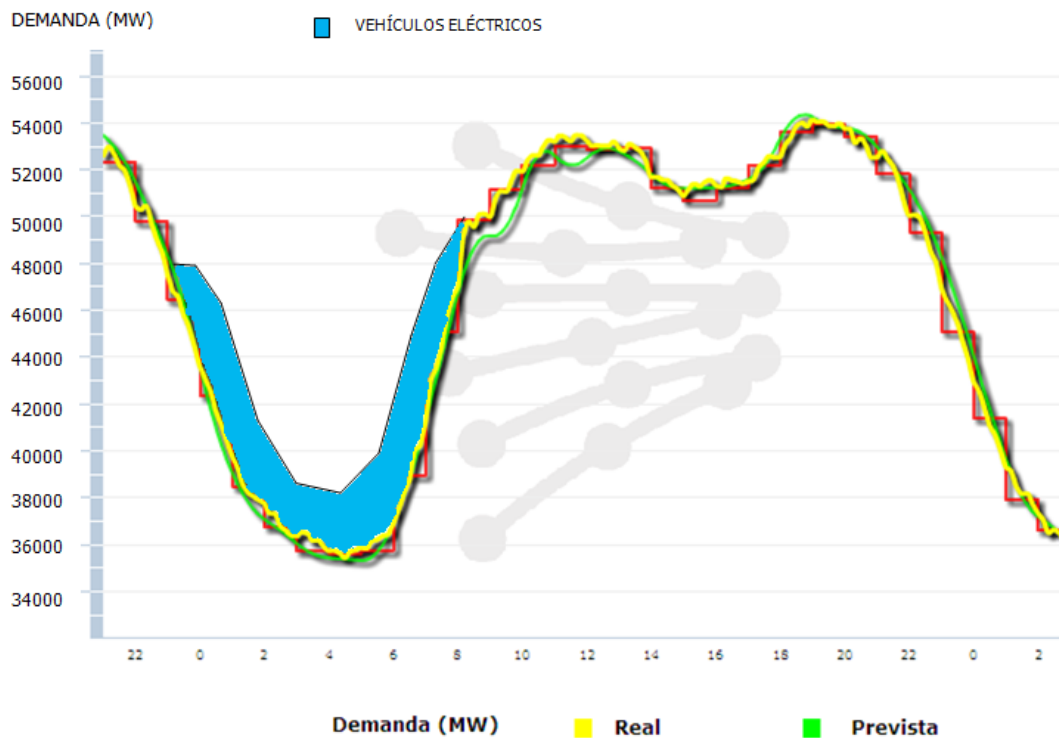
No requiere más desarrollo de red ni generación.



Fuente: REE

Gráfica 11. Perfil de demanda para H2.

c) Recarga simultánea en 8h (día tipo invierno). Recarga en valle.



Fuente: REE

Gráfica 12. Perfil de demanda para H3.



Se observa un aplanamiento de la curva de carga, con lo que se consigue:

- ✓ Mayor eficiencia y rentabilidad de la generación convencional.
- ✓ Mayor integración de las renovables.
- ✓ Operación de bajo riesgo para integración de VE limitada (1millón).

Requiere una sistema inteligente de gestión (conocido como SmartGrid) para la recarga que permita distribuir a lo largo del periodo la carga de los vehículos, evitando discontinuidades.



6.- CONCLUSIONES

Debido al incremento del precio del petróleo y al intento por cumplir los límites de emisiones de CO₂ la tecnología del vehículo eléctrico está creciendo fuertemente desde hace unos años. Este crecimiento puede observarse claramente en el objetivo de los fabricantes de automóviles de sacar al mercado vehículos eléctricos en los próximos años. La mayoría de estas empresas ya tienen prototipos en pruebas, y alguna de ellas ya los está vendiendo al público. Aunque los precios ahora mismo son elevados se prevé que disminuyan cuando comience la fabricación en serie tanto de los coches como de las baterías (componente actualmente más caro de estos vehículos).

Las baterías están experimentando continuas mejoras debido a la necesidad de reducción de peso y tamaño y extensión de su autonomía para este tipo de aplicación.

Las baterías pueden recargarse en horas valle aprovechando la electricidad de origen renovable.

A estos motivos para la incorporación del vehículo eléctrico, debe sumarse el actual problema de los vertidos de energía renovable, que como se ha visto irá a peor cada año si no se establecen medidas correctivas y preventivas, como incrementar el bombeo (labor complicada por su impacto ambiental y cierto rechazo social), almacenar la energía sobrante (baterías y supercondensadores en desarrollo) o cargar las baterías de los vehículos eléctricos (tecnología factible a medio plazo).

Como ya se ha comprobado, el Sistema eléctrico está preparado para asumir una integración de un millón de vehículos eléctricos.

Sin embargo, las características de la recarga (duración, momento en que se realiza, coordinación con el sistema) resultan determinantes para en la operación del sistema.

Es deseable que la mayor parte del consumo de los vehículos eléctricos tenga las siguientes características:

- Tiempos de recarga largos (4-8 horas)
- Recarga en horas valle (de 0 a 8 horas)
- Sistema inteligente de gestión de la recarga.

Las dos primeras características dan mayor eficiencia al sistema eléctrico.



La tercera, ayuda a una operación más segura del sistema eléctrico, pero requiere sistemas inteligentes.

Con estas condiciones de recarga se consigue mayor eficiencia (uso durante más horas) de las instalaciones existentes y futuras de generación y de red de transporte, y favorece la integración de las energías renovables, especialmente la eólica, ayudando a superar muchas de sus limitaciones actuales como la no gestionabilidad y a reducir los vertidos, que podrían llegar en el año 2016 a 4,4 TWh/año.



7.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] HISTORIA <http://inventors.about.com/library/weekly/aacarselectrica.htm>., septiembre 2009.
- [2] <http://www.motorpasion.com/hibridosalternativos/historia-del-coche-hibrido-los-pioneros>, septiembre 2009.
- [3] Alberto Ceña, José Santamarta, “El coche eléctrico: la energía y el medio ambiente”, noviembre 2009.
- [4] La energía en España 2007. Mityc.
- [5] El [sistema eléctrico español 2009](#). REE.
- [6] “Bottling electricity: storage as a strategic tool for managing variability and capacity concerns in the modern grid”. EAC, abril 2009.
- [7] <http://www.mercaredsostenible.com/novedades/coches-hibridos-conectables.html>, febrero 2010.
- [8] http://www.avere.org/what_are_evs.htm#BEV, agosto 2009.
- [9] http://www.evwind.es/contenidos.php?id_cont=8, octubre 2009.
- [10] <http://www.udel.edu/V2G/page2/page9/page9.html>, agosto 2009.
- [11] Ingeniería ambiental. 5º curso de Ingeniería Industrial 2009.
- [12] Emir Madruga, “Combustibles sólidos de baja densidad”, noviembre 2009.
- [13] Fabricantes de coches: <http://www.calcars.org/carmakers.html>, octubre 2009.
- [14] “Baterías avanzadas para vehículos eléctricos”, CSIC, 2009.
- [15] <http://www.elcocheecoelectrico.com/>, enero 2010.
- [16] <http://www.icmm.csic.es/jaalonso/velec/baterias/bateria.htm>, febrero 2010.
- [17] <http://www.cienciateca.com/ctslibat.html>, febrero 2010.
- [18] Andrew F.Burke, “Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles”, octubre 2009.
- [19] Ilga Jurkelo, “Ventajas y limitaciones de la batería de polímero de litio”, noviembre 2009.
- [20] http://www.toshiba.co.jp/about/press/2005_03/pr2901.htm, septiembre 2009.
- [21] <http://www.think.no/think>, septiembre 2009.
- [22] <http://www.zenncars.com/>, agosto 2009.



- [23] Informe “Tecnologías de almacenamiento”, REE, 2008.
- [24] <http://www.betterplace.com/>, septiembre 2009.
- [25] <http://www.elektromotive.co.uk/html/index.php>, septiembre 2009.
- [26] Air Resources Board, “Staff Paper on the Standardization of Electric Vehicle Charging Infrastructure”, febrero 2001.
- [27] <http://greenstop.com/> , diciembre 2009.
- [28] <http://www.rwe-mobility.com/web/cms/en/236758/rwemobility/berlin-pilot-project/description/>, octubre 2009.
- [29] IDAE, “Proyecto piloto de MOVilidad ELEctrica”, 2009.
- [30] Proyecto Merge: <http://www.vehiculoselectricos.com/blog/proyecto-merge-de-iberdrola/>, noviembre 2009.
- [31] http://www.johnsoncontrols.cn/publish/us/en/products/automotive_experience/concept_cars/re3.html, octubre 2009.
- [32] http://my.epri.com/portal/server.pt/gateway/PTARGS_0_237_317_205_77_6_43/http%3B/uspalecp604%3B7087/publishedcontent/publish/epri_and_ford_announce_phev_deliveries_da_627215.html, septiembre 2009.
- [33] http://www.iberdrola.es/webibd/gc/prod/es/comunicacion/notasprensa/081211_NP_general_motors.pdf , noviembre 2009.
- [34] “Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2010”. Ministerio de Industria, turismo y comercio.
- [35] Boletín mensual. Enero 2010. Red Eléctrica de España.
- [36] <http://www.revaglobal.com/SeeIT.aspx?Type=SEEIT&id=divSeeIT>, febrero 2010.
- [37] <http://motorfull.com/2008/06/los-fabricantes-de-baterias-seran-los-amos-del-mercado>, febrero 2010.
- [38] <http://news.solici clima.com/imatges/coches-electricos-san-francisco.jpg>, febrero 2010.
- [39] <http://www.publicchargingstations.com/pictures/>, enero 2010.

ANEXO

A1. COMERCIALIZADORAS DE PHEV

FABRICANTE	Descripción y resumen de declaraciones oficiales	Estado de producción
<u>AFS Trinity</u>	Prototipo de combinación de batería de litio + supercapacitador, para licenciar a los fabricantes de coches	Con Ricardo, dos conversiones prototipo del híbrido Saturn Vue al híbrido enchufable XH-150 con un rango sólo-eléctrico de 64 km (40 millas).
<u>Aptera</u>	Vehículo futurístico ligero 2h de tres ruedas de US \$30.000 en desarrollo.	Toma depósitos en California para la versión híbrida enchufable serie de 2010, que seguirá a la versión todo-eléctrica de 2009.
<u>Audi</u>	Compañía poseída por Volkswagen que explora los PHEVs.	PHEV coche de concepto subcompacto denominado "A1 project quattro", mostrado en octubre de 2007; híbrido enchufable del A1 Sportback en consideración.
<u>Bright Automotive</u>	Salpicadura (spin-off) con ánimo de lucro de Rocky Mountain Institute (RMI) que diseña PHEVs ligeros, sucesores del coche de concepto de la década de 1990 de RMI "Hypercar". En asociación con Alcoa, Duke Energy, Google.org y Johnsons Controls	Empresa de arranque (startup) de Indiana que planea desvelar un vehículo en mayo de 2009 en el Simposio de Vehículos Eléctricos (EVS-24) en Noruega; producción en masa en 2012.
<u>BYD</u>	Compañía de vehículos BYD, Shenzhen, China (poseída en parte por Mid-America Holdings de Warren Buffet)	Vende el híbrido enchufable F6DM de \$22.000 y con un rango sólo-eléctrico de 97 km (60 millas) en China, con planes de ofrecerlo en EE.UU. hacia 2011.
<u>Chrysler</u>	La división ENVI que está desarrollando el monovolumen Town & Country, el conceptual 200C EV y los todo-terreno ilimitados Jeep Patriot y Jeep Wrangler, híbridos serie (o EREVs) con un rango sólo-eléctrico de 64 km (40 millas).	Uno PHEV, planeado para venta en EE.UU. a finales de 2010, otros para 2013.
<u>Daimler/Mercedes</u>	Absorbió el programa PHEV de Daimler-Chrysler. Mostró el PHEV conceptual serie BlueZERO E-CELL PLUS en diciembre de 2008	Varias docenas de prototipos de furgoneta de 15-pasajeros desde 2004; actualmente, desarrolla la segunda generación; sin planes de producción.
<u>Fisker</u>	PHEV serie de lujo de \$80.000 Karma con un rango de 80 km (50 millas), versión descapotable del S Subset. Asociado con Quantum Technologies.	1.000 pre-pedidos para pequeña producción, que comienza el cuarto trimestre de 2009. Está creando red de distribuidores.
<u>Ford</u>	Escape PHEV-40 (40 millas o 64 km de rango sólo-eléctrico) hacia 2012. Pequeño programa de evaluación a largo plazo, incluyendo modelización de los beneficios y economía del vehículo-al-edificio (vehicle-to-building o V2B), iniciado con Southern California Edison y al que se han unido el EPRI, otras eléctricas, el Departamento Federal de Energía de EE.UU. (US DOE). Baterías no listas. Ha mostrado algunos PHEV de concepto de pila de combustible.	Primer Escape PHEV entregado a SCE en nov-2007; 20 en 2008-2009 (varias compañías post-mercado han realizado conversiones a PHEV del Ford Escape híbrido y una ha realizado una modificación de la camioneta F-1500; véase Where PHEVs Are y el enlace: Conversiones de vehículos de combustión interna ICE-Conversions). Ha cambiado el Focus hacia un Focus todo-eléctrico para 2011, en colaboración con Magna.
<u>General Motors</u>	Saturn Vue PHEV y Chevy Volt PHEV serie, al que denomina "vehículo eléctrico de rango extendido" ("extended range electric vehicle" o EREV), como parte de su plataforma multi-combustible "E-Flex". Planea el Cadillac Converj, el Opel Ampera y otras versiones. Planea el Saturn Vue PHEV-10 (híbrido enchufable con 10 millas o 16 km de rango sólo-	Planea "grandes flotas de demostración" a finales de 2009. Comprometido a vender 10.000 o más vehículos a finales de 2010, con producción en aumento en 2011. Véase Chevy Volt para para las últimas actualizaciones. Trata de poner el Saturn Vue en la carretera en 2010; sin objetivo de producción.



	eléctrico).	
<u>Honda</u>	Ve los PHEVs as como autos que tienen "un tanque de fuel y un motor de combustible innecesarios"; promete vehículos todo-eléctricos "asumiendo que podamos sacar a la luz realmente una batería de alta ejecución en la que estamos trabajando actualmente." Duda que los PHEVs tengan beneficios medioambientales.	No tiene ningún enchufable conocido que esté siendo planificado o en la carretera. Continúa la promoción y el desarrollo del hidrógeno como estrategia a largo plazo.
<u>Hyundai</u>	Asociación con empresas coreanas de baterías para híbridos.	Sonata Híbrido para el año de modelo 2011, posible versión híbrida enchufable para 2013.
<u>Mazda</u>	Compañía asociada a Ford, de la que existen informes un vehículo híbrido enchufable basado en la plataforma Mazda 5 MPV.	No ha anunciado planes. La compañía dice que está centrada en la gasolina y el hidrógeno.
<u>Nissan</u>	Incluye los PHEVs en su programa de desarrollo a largo plazo.	Enfocada en los vehículos todo-eléctricos; asociación de Nissan-Renault con Better Place para vehículos eléctricos.
<u>Persu Mobility</u> (anteriormente Venture Vehicles)	PHEV-20 (de 3 ruedas en desarrollo).	Se espera que acepte depósitos en 2009 y primeras ventas en California en 2010.
<u>Saab</u>	Compañía de GM que explora los PHEVs.	Empresa conjunta con Volvo y otros para investigar los PHEVs.
<u>Toyota</u>	500 Prius enchufables para el año de modelo 2010 con baterías de litio para ser alquilas a flotas de prueba en 2009 (150 en EE.UU.). Está de acuerdo en los beneficios medioambientales y económicos, aunque algunas presentaciones retroceden en esto; dice que las baterías necesitan un desarrollo posterior antes de comprometerse a producir en masa. Dice que queda por demostrar la demanda y si la gente enchufará los vehículos.	Prius del año 2010 diseñados para ser manufacturados con baterías de níquel e hidruro metálico (NiMH) o litio. Algunas empresas de accesorios y organizaciones han convertido cientos de Prius) – véase Where PHEVs Are .
<u>Visionary Vehicles</u>	En equipo con Malcolm Bricklin (que trajo Subaru y Yugo a América), tiene como objetivo un híbrido enchufable de lujo.	Reuniendo fondos para llevar un PHEV serie al Mercado en 2010.
<u>Volkswagen</u>	Director ejecutivo (CEO) dice que "el futuro pertenece a los coches eléctricos", ha obtenido apoyo del Gobierno alemán para desarrollo. Espera producir hacia 2014	La furgoneta PHEV de concepto space up! blue a diésel o pila de combustible y techo fotovoltaico. Planea 20 prototipos PHEV-30 (de 30 millas o 48 km de rango sólo-eléctrico) "Twin Drive" (propulsión gemela) basados en la plataforma Golf para 2010.
<u>Volvo</u>	Compañía de Ford que explora los PHEVs.	Vehículo PHEV de concepto serie "ReCharge" flexifuel de 60-millas (96 Km) con un motor en cada rueda. Empresa conjunta con Saab y otros para investigar los PHEVs.

Fuente: <http://www.calcars.org/es/carmakers.html>

Tabla 11. Comercializadoras de PHEV.

A2. COMERCIALIZADORAS DE BEV.

FABRICANTE	VEHÍCULOS	CARACTERÍSTICAS
BMW	Mini E (en proyecto)	http://www.mini.es/es/es/mini_e/index.jsp
BYD	e6	http://www.byd.com/showroom.php?car=e6
Comarth	Cross Rider	http://www.comarth.com/electricos.aspx
Mitsubishi	i MiEV (2010)	http://www.mitsubishi-motors.com/special/ev/whatis/index.html
Reva	REVAi (varios modelos)	http://www.revaindia.com/models.htm
Th!nk	Th!nk city	http://www.think.no/think/content/view/full/290
Tesla	Tesla Roadster	http://www.teslamotors.com/buy/buyshowroom.php
Zenn Motor Company	Zenncar	http://www.zenncars.com/

Tabla 12. Comercializadoras de BEV.



Mini E (250 Km de autonomía)



e6 (400 Km de autonomía)



Reva i (80 km de auton.)



Cross Rider 4P (100 km de auton.)



i MiEV (160 km de auton.)



Tesla Roadster(400 km de auton.)



Th!nk city (210 km de auton.)



Zenncar (80 km auton.)

A3. NOTICIAS RELEVANTES

- Iberdrola firmó el año pasado un acuerdo con General Motors para estudiar la viabilidad de la implantación de los vehículos eléctricos. En concreto, se ocupa de analizar las necesidades de infraestructuras de recarga para el uso de este tipo de coches.

http://www.iberdrola.es/webibd/gc/prod/es/comunicacion/notasprensa/081211_NP_general_motors.pdf

- Renault – Nissan y EDF van a trabajar juntos para convertirse en los principales fabricantes de vehículos de cero-emisión a partir de 2011. La Alianza creará un Operador de Movilidad Eléctrica para suministrar la infraestructura para recargar estos vehículos. Nicolas Sarkozy destinará 550\$ para desarrollar y llevar a cabo esta iniciativa.

<http://www.environmentalleader.com/2008/10/13/french-president-gives-evs-hybrids-green-light/>

- “e-mobility Berlin”: Daimler y RWE se embarcan en la era de la movilidad eléctrica. Proyecto conjunto con más de 100 vehículos eléctricos de Mercedes-Benz y smart y 500 puntos de carga suministrados por RWE.

<http://www.daimler.com/dccom/0-5-7153-1-1125767-1-0-0-0-0-0-9293-7145-0-0-0-0-0-0.html>

- El Presidente Obama anunció la disponibilidad de 2.4 billones de dólares en financiación para poner el ingenio Americano y a los fabricantes a trabajar produciendo la próxima generación de vehículos híbridos enchufables y los componentes de las baterías para estos vehículos. La iniciativa creará miles de puestos de trabajo.

<http://www.energy.gov/news2009/7066.htm>

- Siete distribuidoras eléctricas y el fabricante de baterías Johnson Controls-Saft se unen al programa de PHEV de Ford y EPRI.

http://my.epri.com/portal/server.pt/gateway/PTARGS_0_237_317_205_776_43/http%3B/uspalecp604%3B7087/publishedcontent/publish/epri_and_ford_announce_phev_del



[veries_da_627215.html](#)

- Comunicados de prensa de la empresa Th!nk
<http://www.think.no/think/Press-Pictures/Press-releases>

- Portugal es el primer país de Europa en firmar un acuerdo para poner en marcha un programa de movilidad con cero emisiones. El gobierno de Portugal junto con Renault-Nissan establecerán una red de estaciones de recarga de baterías para los coches eléctricos que suministrará esta última.
<http://www.automotivedesign-europe.com/news/212200068>

- La compañía energética RWE ha anunciado que junto con varios fabricantes como BMW, Ford, GM, Volkswagen, Fiat y junto con compañías eléctricas como Endesa, Eon o Npower se han puesto a trabajar en **un enchufe estándar** con tres clavijas de 400v.
<http://es.motorfull.com/2009/04/21/cable-estandar-para-vehiculos-electricos/>

- En UK, EDF junto con Elektromotive ya han instalado más de 250 puntos de recarga para vehículos eléctricos.
<http://www.batteryvehiclesociety.org.uk/wordpress/?p=260>

- Los primeros puntos de carga para coche eléctricos en California.
<http://es.motorfull.com/2009/01/10/los-primeros-puntos-de-carga-para-coches-electricos-en-california/>

- El Ayuntamiento de Madrid en colaboración con el Ministerio de Industria ha decidido tomar la iniciativa para **comenzar a instalar cargadores** para vehículos eléctricos en todos los *parkings* de la ciudad.
<http://es.motorfull.com/2009/04/16/madrid-dispondra-de-cargadores-electricos/>

- El Presidente del Gobierno presenta la Estrategia y el Plan de Acción para impulsar el vehículo eléctrico en España. La Estrategia Integral para el Impulso del Vehículo Eléctrico prevé que España cuente con 250.000 vehículos eléctricos (puros e híbridos enchufables) en 2014, cifra consistente con alcanzar



1.000.000 de vehículos eléctricos e híbridos convencionales en 2014.

<http://www.mityc.es/en->

[US/GabinetePrensa/NotasPrensa/2010/Paginas/npplanaccionve060410.aspx](http://www.mityc.es/en-US/GabinetePrensa/NotasPrensa/2010/Paginas/npplanaccionve060410.aspx)